

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4891392号
(P4891392)

(45) 発行日 平成24年3月7日 (2012.3.7)

(24) 登録日 平成23年12月22日 (2011.12.22)

(51) Int. Cl.	F I
HO 4 L 13/08 (2006.01)	HO 4 L 13/08
HO 4 W 28/02 (2009.01)	HO 4 Q 7/00 2 6 1

請求項の数 25 (全 36 頁)

(21) 出願番号	特願2009-505458 (P2009-505458)	(73) 特許権者	507236292
(86) (22) 出願日	平成19年4月9日 (2007.4.9)		ドルビー ラボラトリーズ ライセンシン
(65) 公表番号	特表2009-533963 (P2009-533963A)		グ コーポレイション
(43) 公表日	平成21年9月17日 (2009.9.17)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94
(86) 国際出願番号	PCT/US2007/008941		103-4813 サンフランシスコ ポ
(87) 国際公開番号	W02007/120710		トレロ アベニュー 100
(87) 国際公開日	平成19年10月25日 (2007.10.25)	(74) 代理人	100070150
審査請求日	平成20年12月11日 (2008.12.11)		弁理士 伊東 忠彦
(31) 優先権主張番号	60/791, 970	(74) 代理人	100091214
(32) 優先日	平成18年4月13日 (2006.4.13)		弁理士 大貫 進介
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100107766
			弁理士 伊東 忠重
		(74) 代理人	100071010
			弁理士 山崎 行造

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無線処理システム装置のキュー長の推定および無線ネットワークにおける信号受信品質の推定

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

情報パケットを送出する第1のデータソースと、

前記第1のデータソースから前記情報パケットを受信し、前記パケットのうちの少なくともいくつかのパケットについての情報をバッファに記憶させ、1つ以上の受信器に受信させるために通信チャンネルに沿って情報パケットを送信する処理装置と、

前記処理装置によって送信された前記情報パケットのうちの少なくともいくつかの情報パケットを含む、1つ以上の装置によって送信された情報パケットを、前記通信チャンネルから受信する受信器と

を備える通信システムにおいて、前記処理装置の前記バッファについての占有推定レベルを判断するための方法であって、

前記受信器によって受信されると、各情報パケットについての受信時間を記録するステップと、

前記受信器が受信した前記各パケットから、前記処理装置によって送信されていたものとして特定されている、選択パケットを特定するステップと、

前記選択パケットにより伝達されたデータから開始時間を導出するステップであって、該開始時間は、選択パケットにより伝達された情報が前記処理装置により受信された時間、に対応することを特徴とする、開始時間を導出するステップと、

前記選択パケットの前記受信時間から終了時間を取得するステップと、

前記選択パケット以前に前記受信器によって受信されかつ前記処理装置によって送信さ

10

20

れたものとして特定されている情報パケットによって伝達された情報を検査して、前記受信器によって受信された前記パケットのうちのいずれが前記開始時間から前記終了時間までの期間中に前記処理装置によって送信された固有パケットであるかを判断するステップと、

いずれのパケットが前記固有パケットであるかの前記判断から、前記バッファについての前記占有推定レベルを導出し、前記バッファについての前記占有推定レベルを表す信号を生成するステップと

を含む、方法。

【請求項 2】

各固有パケットは、各シーケンス番号によって特定され、前記方法は、隣接するパケットの前記シーケンス番号間の 1 より大きい増加分を認識するステップと

10

、
前記増加分がシーケンスギャップの閾値よりも小さい場合には、前記固有パケット数を前記増加分から導出された量だけ増加させるステップと
を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

各固有パケットは、各シーケンス番号によって特定され、前記方法は、前記開始時間に最も近いが該開始時間より前ではない時間に受信されたパケットのシーケンス番号と、前記終了時間に最も近いが該終了時間より後ではない時間に受信されたパケットのシーケンス番号との差から、前記固有パケット数を計算するステップを含む、請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 4】

各パケットは、キューイング優先度の表示を伝達し、前記処理装置は、1 つ以上のバッファを使用して、各パケットの前記キューイング優先度に従って、多クラスのキューイング手法を実施し、前記方法は、

複数のキューイングクラスについて固有パケットの番号を取得するステップと、

複数のキューイングクラスについて固有パケットの前記番号を調整して、前記処理装置によって送信されたが前記受信器によって受信されていない未分類パケットを明らかにするステップと、

調整された固有パケットの番号を使用して、前記キューイングクラスの前記 1 つ以上のバッファについての各占有推定レベルを判断し、前記 1 つ以上のバッファについての前記各占有推定レベルを表す 1 つ以上の信号を生成するステップと
を含む、請求項 1 に記載の方法。

30

【請求項 5】

複数のキューイングクラスについての前記固有パケットの番号を使用して、複数のキューイングクラスについての各相対確率を推定するステップと、

前記相対確率と前記未分類パケットの数とに応じて、複数のキューイングクラスについての固有パケットの前記番号を調整するステップと
を含む、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記バッファについてのゼロより大きい各占有推定レベルを有する最優先キューイングクラスの優先度以上のキューイング優先度を有するキューイングクラスについてのみ、固有パケットの前記番号を調整するステップを含む、請求項 5 に記載の方法。

40

【請求項 7】

各パケットは、キューイング優先度の表示を伝達し、前記処理装置は、1 つ以上のバッファを使用して、各パケットの前記キューイング優先度に従って、多クラスのキューイング手法を実施し、前記方法は、

前記複数のキューイングクラスにおける固有パケットについての前記受信器による受信の確率を取得するステップと、

複数のキューイングクラスについて固有パケットによって伝達されたデータ量を推定し

50

て、前記処理装置によって送信されたが前記受信器によって受信されていない未分類パケットによって伝達されたデータを明らかにするステップと、

前記推定されたデータ量を使用して、前記キューイングクラスの前記1つ以上のバッファについての各占有推定レベルを判断し、前記1つ以上のバッファについての前記各占有推定レベルを表す1つ以上の信号を生成するステップとを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項8】

前記方法は、前記バッファについての最大占有レベルを推定し、

前記バッファについての前記占有レベルをその最大値にするレートおよび期間で、1つ以上のデータソースから前記処理装置に対してパケットを送出させるステップと、

前記推定された最大占有レベルを前記バッファについての前記判断された占有推定レベルと同一に設定し、前記推定された最大占有レベルを表す信号を生成するステップとを含む、請求項1から3のいずれか1項に記載の方法。

【請求項9】

前記バッファについての前記占有推定レベルを使用して、前記通信システムにおけるパケットの通信レートを導出するステップを含む、請求項1から3のいずれか1項に記載の方法。

【請求項10】

前記通信システムは、

前記第1のデータソースに加えて、情報パケットを送出する1つ以上の他のデータソースを備え、

前記処理装置は、前記第1のデータソースから受信される情報パケットに加えて、前記1つ以上の他のデータソースから情報パケットを受信し、

前記方法は、

複数の選択パケットについて、前記バッファについての複数の占有推定レベルを判断するステップと、

前記バッファについての前記複数の占有推定レベルから、バッファフィルのレートを導出するステップと、

前記第1のデータソースから前記処理装置によって受信された情報のパケットについて主要パケットの到着の推定レートを取得するステップと、

前記処理装置による情報の固有パケットの送信の推定レートを取得するステップと、

前記1つ以上の他のデータソースから前記処理装置によって受信された情報のパケットについて競合パケットの推定到着レートを導出し、競合パケットの前記推定到着レートを表す信号を生成するステップと

を含む、請求項9に記載の方法。

【請求項11】

複数の選択パケットについて、前記バッファについての複数の占有推定レベルを判断するステップと、

前記バッファについての前記複数の占有推定レベルを監視するステップと、

前記バッファについての前記占有推定レベルがゼロより大きい場合には、ある時間間隔内に前記処理装置によって送信された情報の固有パケット数を判断して、前記処理装置による情報の固有パケットの送信の推定レートを導出し、前記処理装置による情報の固有パケットの送信の前記推定レートを表す信号を生成するステップと

を含む、請求項9に記載の方法。

【請求項12】

複数の選択パケットについて、前記バッファについての複数の占有推定レベルを判断するステップと、

前記バッファについての前記複数の占有推定レベルを監視するステップと、

前記バッファについての前記占有推定レベルが占有閾値を超える場合には、前記第1のデータソースへのパケット送出レートを減少させるように通知を送出するステップと

を含む、請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 1 3】

各固有パケットは、各シーケンス番号によって特定され、前記方法は、

前記開始時間から前記終了時間までの前記間隔中に前記処理装置によって送信された固有パケットの第 1 の数を、前記受信器によって観測された前記情報パケットを計数することによって取得するステップと、

前記開始時間から前記終了時間までの前記間隔中に前記処理装置によって送信された固有パケットの第 2 の数を、前記開始時間に最も近いが該開始時間より前ではない時間に受信されたパケットのシーケンス番号と、前記終了時間に最も近いが該終了時間より後ではない時間に受信されたパケットのシーケンス番号との差を計算することによって取得するステップと、

10

前記第 1 の数と前記第 2 の数との間の差に反比例して変化する信号受信品質の測度を導出し、信号受信品質の前記測度を表す信号を生成するステップと

を含む、請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記方法は、前記処理装置によって送信された固有パケットの前記第 1 の数の精度を改良し、前記受信器によって受信された前記情報パケットが、

前記処理装置は、再試行閾値を超える回数分、前記選択パケットを送信したことと、

前記処理装置によって次に送信された後続の情報パケットが前記選択パケットの前記シーケンス番号を 1 より大きな量だけ超えるシーケンス番号を有することと

20

を示す場合に、前記第 1 の数から選択パケットを除外するステップを含む、請求項 1 3 に記載の方法。

【請求項 1 5】

異なる送信レートで前記処理装置から前記受信器によって受信される前記情報パケットにおける各ビット誤り率を推定するステップと、

前記第 1 の番号と前記第 2 の番号との前記差が信号受信品質が悪いであろう旨を示す場合には、前記推定されたビット誤り率から信号受信品質の前記測度を導出するステップとを含む、請求項 1 3 または 1 4 に記載の方法。

【請求項 1 6】

閾値テストの組を、信号受信品質の直近に導出された測度のスライド期間に対して適用するステップを含む、請求項 1 3 から 1 5 のいずれか 1 項に記載の方法。

30

【請求項 1 7】

前記固有パケットの個数を取得して、前記バッファについての前記占有推定レベルをパケットの数で判断するステップを備える、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 8】

前記固有パケットによって伝達されるバイトの合計を取得して、前記バッファについての前記占有推定レベルをバイトで判断するステップを備える、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 9】

受信された選択パケットを送信するための前記処理装置による第 1 の試行の結果として前記受信された選択パケットが前記受信器によって受信された旨を示すデータを伝達する、前記受信器によって受信された前記情報パケットから、前記受信された選択パケットを特定するステップと、

40

前記受信器によって受信されると、前記受信された選択パケットについての受信時間を記録するステップと、

前記 1 つ以上の装置のうちのいずれかによる送信を検出するために、前記通信チャンネルを監視するステップと、

前記受信された選択パケットの前記受信時間直前であって、前記通信チャンネルに沿った送信が検出されなかった時間長を計算するステップと、

前記時間長を第 1 の待ち時間閾値と比較するステップと、

前記時間長が前記第 1 の待ち時間閾値を超える場合には、前記バッファについての前記

50

占有推定レベルをゼロと判断し、前記バッファについての前記占有推定レベルを表す情報を伝達する信号を生成するステップと、
を含む、請求項 1 から 18 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 20】

前記方法は、前記バッファの前記占有レベルがゼロであると判断される場合に、前記受信器における第 1 のクロックを前記第 1 のデータソースにおける第 2 のクロックに同期させる際に使用するクロック調整値を計算し、

前記データソースにおける前記第 2 のクロックを基準として、前記受信された選択パケットによって伝達された前記情報が前記第 1 のデータソースによって送出された時間を示す送出時間を、前記受信された選択パケットによって伝達されたデータから取得するステップと、

10

前記バッファについての前記占有レベルがゼロの場合に、パケットの送信を遅延させる、前記処理装置における推定処理遅延を取得するステップと、

前記受信された選択パケットの送出時間と、前記推定処理遅延とを、前記受信された選択パケットの受信時間から減算することによって、前記クロック調整値を計算するステップであって、前記受信時間は、前記受信器における前記第 1 のクロックを基準として、前記受信された選択パケットが前記受信器によって受信された時間を示す、ステップと、

前記クロック調整値を表す信号を生成するステップと
を含む、請求項 19 に記載の方法。

【請求項 21】

20

前記第 1 の待ち時間閾値よりも小さい第 2 の待ち時間閾値に前記時間長が等しい場合には、前記推定処理遅延を計算するステップを備える、請求項 20 に記載の方法。

【請求項 22】

複数の受信された選択パケットについての複数の調整値を計算するステップと、

前記複数の調整値を検査して、前記複数の受信された選択パケットのいずれかが、前記処理装置による送信前に前記処理装置におけるキューイング遅延に遭遇したかどうかを推定するステップと、

キューイング遅延に遭遇していなかったと推定された受信された選択パケットに対応する調整値から、前記クロック調整値を取得するステップと
を含む、請求項 20 に記載の方法。

30

【請求項 23】

前記通信チャンネルを監視して、通信トラフィック統計値を導出するステップであって、前記処理装置は、通信プロトコルを使用して、前記通信チャンネルに沿って情報パケットを送信する、ステップと、

前記処理装置によって必要とされる推定個別時間を取得して、前記通信トラフィック統計値に基づくモデルから固有の情報パケットを送信するステップであって、前記推定個別時間は、待ち時間と、送信間隔との合計であり、

各待ち時間は、前記処理装置が各前記通信チャンネルに沿って情報パケットを送信する前に待たなければならない、前記通信プロトコルによって課せられた時間量であり、

各送信時間は、前記情報パケットを表すデータを前記通信チャンネルに注入するために前記処理装置によって必要とされる時間量である、ステップと、

40

前記処理装置によって必要とされる前記推定個別時間の合計を取得して、ある数の固有情報パケットをそれぞれ送信するステップと、

前記固有パケット数を推定個別時間の前記合計で除算したものから、前記処理装置による固有情報パケットの送信の推定レートを導出し、前記処理装置による固有情報パケットの送信の前記推定レートを表す信号を生成するステップと

を含む、請求項 19 に記載の方法。

【請求項 24】

請求項 1 から 23 のいずれか 1 項に記載の前記ステップを行うための手段を備える、装置。

50

【請求項 25】

コンピュータによって読み込み可能な命令のプログラムを記録する記録媒体であって、該命令のプログラムを該コンピュータが実行することにより、請求項 1 から 23 のいずれか 1 項に記載の方法を実行させることを特徴とする、記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、情報のストリームを送受信する装置に関し、より具体的には、情報のストリームを監視することによって、これらの装置の動作特性を判断するために使用され得る手法に関する。例えば、本発明は、パケットに配置されたマルチメディア情報のストリームを送受信する無線ネットワークにおける受信器、ルータ、およびアクセスポイントの動作特性を判断するために使用してもよい。

10

【背景技術】

【0002】

無線ネットワーク上をリアルタイムでマルチメディアトラフィックを伝達することは、第 3 世代のセルラー、W i F i、および W i M A X 無線ネットワークにおいて重要な応用の一つであると期待されている。このような応用においては、画像や音声を表すデジタルデータなどのマルチメディア情報のストリームは、パケットに組織化される。マルチメディアソースは、これらのパケットのストリームを、パケットを通信チャンネル上でエンドユーザの受信器へ送信するルータまたは無線アクセスポイントなどの処理装置へ送出する。処理装置がパケットを即座に送信することができない場合には、当該パケットが送信可能になるまで、当該パケットをキューまたはバッファに一時的に記憶させる。例えば、無線アクセスポイントは、無線通信チャンネルが他の処理装置によって使用されている場合には、パケットを送信することができない場合がある。

20

【0003】

ルータなどの処理装置が、送信可能なレートよりも高いレートで情報を受信する場合には、キューまたはバッファに記憶される情報量が増加することになる。長期間にわたって受信レートが発信レートよりも高いままである場合には、バッファ内の記憶情報についての占有レベルは、バッファの記憶容量によって決定される最大占有レベルに到達するまで増加することになる。このバッファオーバーフローと称される状態の間、情報の損失は避けられない。なぜならば、処理装置は、情報が到着するとそれを破棄するか、または、到着する譲歩を記憶するための空間を取得するために、バッファから情報を破棄しなければならないからである。例えば、I E E E 8 0 2 . 1 1 a または 8 0 2 . 1 1 g 規格に準拠する典型的な無線ネットワークにおいて、無線アクセスポイントおよびルータなどの処理装置は、1 0 0 M b / 秒までのレートで動作する無線通信路から情報を受信し、せいぜい 5 4 M b / 秒以下のレートで動作する無線通信路上で当該情報を転送または送信する。処理装置が例えば 1 0 0 M b / 秒近いレートで有線路から情報を受信すると、受信された情報が到着するレートについていくのに十分に高いレートで情報を無線路上で送信することができない。バッファ占有レベルは、バッファストレージに対する要求がバッファ容量を超えるまで増えることになる。ある情報は、転送または送信可能である前に破棄されなければならないので、失われることになる。

30

40

【0004】

情報は、前記送信チャンネルにおける雑音または干渉のために失われることもある。この種の損失は、多くの無線ネットワークにおいてよく起こることだが、再送信および順方向誤り訂正 (F E C) 手法の使用を通じて減少させることができる。残念なことに、これらの手法は、送信されなければならないデータの量を増加させてしまい、これによって、処理装置が情報を送信可能な有効レートを減少させ、その結果、バッファストレージに対してより多くの要求を課することとなる。

国際公開第 W O 9 9 / 0 4 5 3 6 号は、バッファオーバーフローによるパケット損失を回避または少なくとも減少することができるように、データソースの送出レートを制御す

50

るために、あるネットワーク通信プロトコルとともに使用され得る手法を説明している。本手法は、データソースが送出したデータパケットが所期の受信者によってうまく受信される場合に肯定応答 (positive acknowledgment)、すなわち「ACK」パケットをデータソースへ返す通信プロトコルの特徴に依存している。データソースは、その送出レートを、ACKパケットが迅速かつ一貫して受信される場合には増加させ、ACKパケットの受信が一貫していないかまたは多少遅れて受信される場合には減少させる。この特徴を使用して、開示された手法は、あるバッファ占有測度が特定の閾値レベルを超えるレベルに達した場合にはACKパケットの返信を遅延させることによって、送出レートを制御する。バッファ占有測度は、バッファを含む処理装置の内部動作に直接アクセスすることによって取得される。

10

国際公開第WO2005/081465号は、データソースおよび受信器から取得されたパケットシーケンス番号から処理装置内のバッファの占有レベルを計算するための手法を説明している。本手法は、バッファオーバーフローまたは送信障害によって失われたパケットについて明らかにしておらず、複数のデータソースから受信されたパケットまたは複数の受信器へ伝達することになっているパケットをバッファリングする処理装置におけるバッファ占有を計算するには不適切である。

【0005】

バウアー (Bauer) およびジャン (Jiang) による、2006年5月26日出願の国際出願PCT/US2006/020861号であって2007年1月11日公開の公開番号WO2007/005160号「無線ネットワーク上でのマルチメディアストリーミングの順方向誤り訂正を最適化するための方法およびシステム (Method and System for Optimizing Forward Error Correction of Multimedia Streaming over Wireless Networks)」は、バッファオーバーフローによって生じた情報の損失を最小限にするパケットベースのネットワークについてのFECパラメータ (n , k) の対を n 個のパケットの組について選択するために使用され得る手法を開示している。ここで、 k = マルチメディアデータを搬送するパケットの数であり、 $(n - k) = n$ 個のパケットの組における誤り訂正パケットの数である (この出願を、以下「FEC最適化出願」と称し、その内容全体を参照によって本願に包含するものとする)。本手法は、バッファサイズまたはバッファ容量と称されるバッファ占有の最大レベルと、競合または干渉する情報が処理装置に到着する際のレートとを含むいくつかの入力パラメータを要する。これらのパラメータを、処理装置の内部動作を知ることなくアクセスすることなく推定するやり方が必要とされている。

20

30

【0006】

バッファオーバーフローによって生じた情報の損失は、ソースが情報を処理装置に提供する場合のレートを制御する他の手法を使用することによって減少またはなくすことができる。この手法の実施を、処理装置の内部動作を知ることなくアクセスすることなく取得できるバッファ占有レベルの測度を使用して行うやり方が必要とされている。

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

40

【0007】

本発明の目的は、ルータおよび無線アクセスポイントなどの処理装置の動作特性を、これらの装置によって送信された情報を監視することによって判断する方法を提供することである。例えば、バッファ容量およびバッファ占有レベルなどの動作特性を判断することができる。また、本発明の目的は、信号対雑音比などの監視状態が、動作特性を合理的な精度で判断するのに十分なものかどうかを評価する方法を提供することである。

【0008】

以下に説明する本発明の様々な実施は、処理装置におけるバッファの容量を推定するものであり、特定の時点での処理装置におけるバッファ占有レベルを推定することができ、処理装置によって送信される情報を監視することによって、これらの推定の信頼性を測定

50

することができる。以下に説明する実施のすべてにおいては、処理装置は、入力情報の1つ以上のストリームを有線路または光路から受信し、無線路上で情報の1つ以上の出力ストリームを送信する、無線アクセスポイントなどの転送装置の類であるものとし、入力情報のストリームおよび出力情報のストリームは、別個のセグメントに配置されているものとする。これらの実施のうち、ある実施においては、処理装置におけるバッファは、情報のセグメントについての先入れ先出し（`first-in-first-out`：FIFO）キューを実施するものとする。

【0009】

本発明の様々な特徴およびその好ましい実施の形態は、以下の説明および添付の図面を参照することによってより理解されよう。以下の説明および図面の内容は、例として記載されるものであり、本発明の範囲上での限定を表すものと理解されるべきではない。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

A. 序論

図1は、通信システムの概略図であって、当該システムにおいて、1つ以上のデータソース2，4が、パケットに配置された情報を伝達するソース信号を提供する。パケットのうちの少なくともいくつかで搬送される情報は、例えばマルチメディア情報であってもよい。データソース2によって提供されるソース信号は、いくつかの応用に関連付けられる「主要パケット（`primary packets`）」に配置された情報を搬送する。データソース4などの他のデータソースも、主要パケットを供給するのに必要なリソースを求めて競い合うことから「競合パケット（`competing packets`）」と称されるパケットに配置された情報を搬送するソース信号を提供する。しかしながら、これらの他のデータソースからのソース信号は、同種の情報を搬送する必要はなく、競合パケットは、データソース2について説明したようなやり方で配置される必要はない。

【0011】

データソース2，4からのソース信号は、それぞれ通信路3，5に沿って処理装置10へ渡される。これらの通信路3，5は、広範な通信技術によって実施してもよい。例えば、金属線または光ファイバなどの媒体を使用する任意のIEEE 802.3規格に準拠した技術が使用してもよい。処理装置10は、例えばルータまたは無線アクセスポイントであってもよく、データソース2，4それぞれからパケットを受信し、当該パケットのうちの少なくともいくつかについての情報をバッファに記憶させる。処理装置10は、情報パケットを通信路11に沿って送信して、情報パケットが受信器20などの1つ以上の受信器によって受信されるようにする。通信路11は、任意のIEEE 802.11規格に準拠するような無線技術を含む広範な技術によって実施してもよい。通信システムは、他の受信器、送信器、およびデータソースを要望に応じて含んでもよい。

【0012】

受信器20は、本発明の様々な局面が行われる装置を表す。以下に説明するような通信システムの実施において、通信路11は、同報通信またはマルチキャスト媒体である。受信器20は、通信路11を監視し、処理装置10によって送信される情報を以下に説明する手法を使用して分析する。受信器20および任意の他の受信器宛ての情報は、監視および分析される。受信器20は、1つ以上の他の応用のためのものとされる情報も受信および処理してもよい。

【0013】

この通信システムにおける装置は、従来の順方向誤り訂正（`forward-error correction`：FEC）処理、もしくは、例えば受信器が受信を確認しないパケットをデータソースまたは処理装置に再送信させるなどのサービス品質処理などといった、様々な誤り訂正または誤り回復手法を取り入れてもよい。

【0014】

図1に示す概略図は、通信システムの実際の実施において望ましいであろう数多くの要素を省略しているが、本発明を説明するには必要ない。例えば、通信路11がクリアであ

10

20

30

40

50

るかをどうか、すなわち、他のパケット処理装置が通信路 11 を現在使用しているかどうか、または、受信器 20 による受信を阻止するであろう何らかの干渉の類が存在しているかどうかを確認するために必要であろう要素を本図は示していない。また、パケットの損失またはパケットを再送信する必要性についてのあらゆる情報を受信器 20 から取得するために必要であろう要素も示されていない。

【0015】

以下の本開示を通じて、より具体的に説明することになる実施においては、データソースと処理装置との間の通信路は IEEE 802.3 規格のうちの 1 つに準拠し、処理装置と受信器との間の通信路は IEEE 802.11 規格のうちの 1 つに準拠している。これらの通信路に沿って伝達される情報のストリームは、媒体アクセス制御 (Medium Access Control: MAC) プロトコルに従って配置される。MAC プロトコルは、MAC ヘッダに添付されるアプリケーションデータのパケットを含む MAC フレームに情報を配置するものである。MAC ヘッダは、アプリケーションデータのソースのネットワークアドレス (「ソースアドレス」) と、アプリケーションデータの所期の単数または複数の受信者のネットワークアドレス (「宛先アドレス」) とを含む。このような実施の詳細を実施例として提示する。本発明は、実質的にどのような所望の通信技術と共に使用してもよい。

10

【0016】

IEEE 802.3 および IEEE 802.11 規格に準拠する技術では、情報パケットを伝達する MAC フレームが送受信されるというのが技術的には正しい。しかしながら、以下の説明は、このような類の動作をパケットを送受信するとして時には説明することによって、多少簡略化されている。

20

【0017】

以下に説明する実施例のいくつかは、「プローブ (probe) パケット」と称される時間情報を伴うパケットを使用して、信号伝搬および処理遅延を測定する。特に断りのない限り、これらの実施例は、このようなプローブパケットを伝達する信号が、無視できるか、一定か、または受信器 20 によって予測されることが可能な時間量で各ソースから処理装置 10 へ伝搬するものという仮定に基づいている。

【0018】

B. バッファ占有の推定

30

処理装置 10 におけるバッファ占有の現在のレベルを推定するために使用され得るいくつかの手法を以下に説明する。

【0019】

1. 基本手法

バッファ占有推定手法の一実施の形態は、プローブパケットを使用し、いくつかの仮定に基づくものである。すなわち、(1) データソースがプローブパケットを時間 t_s に送出し、送出時間 t_s をパケットまたはプローブパケットに付随する制御情報に挿入する、(2) 送出時間 t_s と処理装置 10 への到着時間との間の期間は、無視できる、(3) 処理装置 10 は、プローブパケットおよびその送出時間を、受信器 20 によって観測できるような形式でバッファリングした後に送信する、(4) プローブパケットのデータソースおよび受信器 20 は、互いに同期するクロックを使用する、(5) 処理装置 10 は、そのバッファを使用して、先入れ先出し (first-in-first-out: FIFO) キューイング手法を実施する、および (6) バッファ占有レベルは、バッファに記憶されたがまだ取り出されていないパケット数で測定される。

40

【0020】

プローブパケットが処理装置 10 に到着したときにバッファ占有レベルが時間 t_s で L である場合、時間 t_s におけるバッファは、FIFO キューにおいて、プローブパケットの前に L 個のパケットを有することになる。処理装置 10 は、 L 個の先行パケットすべてが送信されるまでは、プローブパケットを送信しないことになる。処理装置 10 がプローブパケットを送信し、当該プローブパケットが時間 t_R において受信器 20 によって観測

50

される場合には、受信器 20 は、 t_s から t_R までの間に処理装置 10 によって送信される固有パケット数を計数することによって、時間 t_s において存在した処理装置 10 のバッファ占有レベルを判断することができる。

【0021】

受信器 20 がこの期間に送信される固有パケットのすべてについての総バイト数を計算すれば、バッファ占有レベルをバイトで表現することができる。所望であれば、受信器 20 はデータソースと処理装置 10 との間の伝搬遅延をも明らかにすることができる。

【0022】

2. パケットの計数

受信器 20 は、自身が受信する、処理装置 10 によって送信されたすべての固有パケットを計数しなければならない。受信器 20 宛てのパケットのみを計数するだけでは十分ではない。どのパケットも受信器 20 宛てとはならないこともあり得る。

【0023】

多くの実際的な実施において、処理装置 10 は、所期の受信者が誤りなくパケットを受信しない場合には、パケットを再送信することになる。この手法は、通信路 11 についての媒体が雑音および情報パケットを破損させ得る他の干渉を受ける場合には特に有用である。このような実施において、受信器 20 は、どのパケットが処理装置 10 によって送信されたものであり、どのパケットが固有であるかを判断できるように、受信するすべての MAC フレームの記録を取っておかなければならない。これは、誤りを検出するための各 MAC フレームにおける巡回冗長コード (cyclic redundancy code: CRC) を使用し、できるだけ多くのデータ誤りを訂正するための順方向誤り訂正などの訂正処理を使用し、MAC ヘッダ内の情報を検査して MAC フレームが処理装置 10 によって送信されたかどうかを判断し、MAC フレームがパケットの再送信を表すかどうかを示すフレーム内の他の情報の記録を取っておくことによって達成可能である。

【0024】

MAC フレームが処理装置 10 によって送信されるかどうかは、方向フラグとして知られる MAC ヘッダ内の情報と、ソースアドレスとを検査することによって判断することができる。MAC フレームがパケットの再送信を表すかどうかは、パケットシーケンスフィールドとして知られる MAC ヘッダ内の他の情報を検査することによって判断することができる。所望であれば、再試行フラグとして知られる送信再試行指標を使用してもよい。

【0025】

IEEE 802.11 規格に準拠するような数多くのプロトコルは、同一の装置によって送信される各固有パケットを特定するための何らかの手段を使用する。IEEE 802.11 規格は、固有パケット毎に単調に増加したシーケンス番号を伝達する 12 ビットのフィールドを規定している。シーケンス番号は、固有パケットを搬送する後続の MAC フレーム毎に 1 ずつ増分される。同一の装置によって送信された 2 つの隣接する MAC フレームが同一のシーケンス番号を有する場合には、後者のフレームは、そのパケットの再送信であることを表すとみなされる。2 つの隣接する MAC フレームが 2^{12} を法として 1 だけ異なるシーケンス番号を有する場合であって、前者のフレームが 2^{12} を法として小さい数を有する場合には、当該 2 つのフレームは、パケットのストリームにおいて固有の連続パケットを伝達するとみなされる。フレームのストリームにおけるシーケンス番号 1, 2, 3, 4 を有する 4 つの固有パケット P1, P2, P3, P4 が、図 2 に概略的に示されている。

【0026】

通信路 11 が無線通信路の場合には、低い信号対雑音比または強い干渉信号によって、処理装置 10 によって送信されるパケットのうちのいくつかを認識することが妨げられる場合がある。受信器 20 が所期の受信者である場合には、この損失は処理装置 10 によって認識可能である。なぜならば、受信器 20 はパケットをうまく受信したことを通知しないからである。処理装置 10 は、うまく受信されたことが通知されるまでパケットを再送信する。受信器 20 が所期の受信者でない場合には、当該損失は検出されることはないだ

10

20

30

40

50

ろう。この状態は、図 3 に概略的に示されており、破線の箱形は、受信器 20 によって観測されないパケット P3 を有するフレームを表す。

【0027】

受信器 20 は、低速処理もしくは受信器 20 における様々な特徴を実施する回路またはプログラミングの障害などの他の理由で、パケットを観測し損なう場合もある。そのような損失の理由は、本発明には重要ではない。

【0028】

損失パケットによって生じるパケット計数の誤りは、シーケンス番号のストリームにおけるギャップまたはジャンプを検出し、ジャンプを生じさせた失われたに違いない固有パケットの数を計数することによって訂正することができる。例えば、IEEE 802.11 規格のうちの 1 つに準拠する実施では、この損失パケットの計数値 $N_{MISSING}$ は、以下の式から計算可能である。

【0029】

【数 1】

$$N_{MISSING} = Q_{STOP} - Q_{START} - 1 \quad (1)$$

式中、 Q_{START} = ジャンプ直前のフレームにおけるシーケンス番号であり、

Q_{STOP} = ジャンプ直後のフレームにおけるシーケンス番号である。

【0030】

様々な IEEE 802.11 の無線ネットワークでの経験的なテストによれば、4 つ程度の損失パケットが明らかになるのが望ましい。4 つ以下のパケットが失われている場合には、 2^{12} を法として 5 以下のジャンプがシーケンス番号のストリームにおいて生じることになる。図 3 の例において、シーケンス番号のストリームにおけるジャンプがフレーム間で生じており、パケット P2 および P4 がシーケンス番号 2 および 4 を有している。ジャンプの大きさは $4 - 2 = 2$ であり、これは、1 つのパケットが失われていることを意味する。この 1 つの損失パケット P3 の計数値は、受信器 20 によって観測される総パケット計数値に含み得る。

【0031】

シーケンス番号のストリームにおけるジャンプが大きい場合には、パケットが観察できない代わりにまたはそれに加えて、何らかの他の種類の誤りが生じている場合がある。例えば、受信パケット内のシーケンス番号が、訂正不可能に破損されている場合もある。この状況の一例が、図 4 に概略的に示されており、パケット P3 のシーケンス番号についての最下位のビット（2 進数で 00011 と表現）が 1 ビットでの誤りによって破損されており、19 となっている（10011 と表現）。ビット誤りにより、 $19 - 2 = 17$ に等しいジャンプが生じる。そのような大きなジャンプを明らかにできるようなパケット数は、計数されるべきではない。なぜならば、数多くのパケットが観測されないのではなく、1 つ以上のフレームにおけるシーケンス番号が破損されていた可能性がより大きいからである。図 4 に示す例では、受信器 20 の好ましい一実施では、見掛けのシーケンス番号 19 を有するパケットをたった 1 つのパケットとして計数するべきではない。

【0032】

シーケンス番号における大きなジャンプは、シーケンス番号における未訂正のビット誤りに加えて、少なくとも 2 つの他の理由によって生じる場合がある。1 つ目の理由は、非常に低い信号対雑音比（signal-to-noise ratio: SNR）によって生じるような悪い信号受信品質であり、これにより、受信器 20 は、MAC フレームをほとんど観測できなくなる。大きなジャンプは、損失パケットが多いことによるものである。以下に説明するいくつかの手法を使用して、この状況が存在するかどうかを判断してもよい。他の理由は、処理装置 10 が厳密には FIFO ではないキューイング手法を実施する場合があることである。なぜならば、処理装置 10 は、ある条件の下で送信のためにパケットを並べ替えるからである。経験的なテストによれば、ルータまたは無線アクセスポイントなどの IEEE 802.11 準拠の処理装置は、複数の受信器のうちの 1 つに対

10

20

30

40

50

する無線リンクの品質の低下に遭遇した場合にはいつでも、厳密にはF I F Oではない順序でそのバッファからパケットを取り出して送信する場合がある。そのような処理装置が数回の再送信の後に特定のパケットP 1をうまく受信した所期の受信器から受信確認を受信しない場合には、処理装置は、他の受信器宛ての他のパケットP 2を、P 2パケットがキューにおいてP 1よりも後であるにもかかわらず送信する場合がある。事実上、キューにおけるパケットは並べ替えられ、これにより、処理装置によって送信されるパケットのストリームのシーケンス番号におけるジャンプが生じる。バッファ占有のレベルの推定は、キュー手法がF I F Oから逸脱すると、遥かに一層複雑なものとなる。

【0033】

幸いにも、ビット誤り、悪い信号受信品質、またはパケットの並べ替えによって生じるシーケンス番号における大きなジャンプを明らかにするパケットの数を判断しようと試みなくても、シーケンス番号のストリームにおける小さなジャンプについてのみ、損失パケットを明らかにすれば十分であるのが通常である。

【0034】

図5に示す図は、処理装置10によって送信されるフレームのストリームについて記録される情報を使用する上述の手法を実施するために使用され得る一処理を表す。この情報は、プローブパケットがそのデータソースから送出された時間であって、処理装置10への到着時間とみなされる、プローブパケット毎の送出時間 T_s と、受信器20によって各パケットが観測された時間である観測時間 T_r と、各パケットをカプセル化するフレームのシーケンス番号Qとを含む。図5に示す図を参照すると、ステップS100は、`current`をプローブパケットフレームについて記録された参照情報に初期化することによって「現在のフレーム」を確立し、現在のフレームにおけるプローブパケットの送出時間 T_s から開始時間 T_start を初期化し、値`seqnr`を現在のフレームのシーケンス番号Qから初期化し、パケット計数値Nを1に等しくなるように初期化する。プローブパケットフレームについての観測時間 T_r は、パケットが計数されるべき時間間隔の終了時間 T_end を表す。ステップS102は、`current`をフレームのストリームにおける現在のフレームの直前のフレームについて記録された参照情報に設定することによって、新規の現在のフレームを確立し、値 T_obs を新規の現在のフレームの観測時間 T_r から設定する。ステップS104は、値 T_obs は開始時間 T_start より前であるかどうかを判断する。そうであれば、処理は、値Nが時間間隔 $[T_start, T_end]$ におけるパケットの計数値を表すものとして結論付ける。値 T_obs が開始時間 T_start より前でない場合には、処理はS106へ続き、`seqnr`の値を`oldseqnr`へ転送して、`seqnr`の値を現在のフレームのシーケンス番号Qからリセットする。隣接フレームのシーケンス番号間の`jump`またはギャップが計算される。ステップS108は、`jump`の絶対値が閾値、本例では5よりも大きいかどうかを判断する。`jump`の絶対値が閾値よりも大きい場合には、ステップS110はパケット計数値Nを1だけ増分する。`jump`の絶対値が閾値よりも大きくない場合には、ステップS112は、計数値を`jump`の値だけ増分する。その後、処理はステップS102へ続く。

【0035】

3. 計数のための代替方法

パケットは、所望であれば他のやり方で計数してもよい。代替のやり方の一つでは、制御情報内にある上述の送出時間 t_s と観測時間 t_r とに近い時間値を有するフレームのシーケンス番号間の差を計算する。本手法によれば、受信器20は、フレームの記録を、その対応するシーケンス番号と、プローブパケットの送出時間 $t_{START} = t_s$ に開始してプローブパケットの観測時間 $t_{END} = t_r$ に終了する時間間隔についての送出時間情報と共に保持する。時間 t_{START} 以上の時間値を有する最も早いフレームは開始フレームとして特定され、時間 t_{END} 以下の時間値を有する最も遅いフレームは終了フレームとして特定される。この方法は、時間間隔 $[T_start, T_end]$ における最初および最後のフレームを特定しようと試みる。終了フレームと開始フレームとの間のシ

10

20

30

40

50

ーケンス番号の差 D は、 2^{12} を法として計算され、この期間のパケットの計数値は、式 $D + 1$ から取得される。パケットを計数する方法は、一般的には、上述の方法ほど確実ではない。なぜならば、フレームのシーケンス番号における未修正のビット誤りがパケットの計算された計数値に重大な誤りを引き起こし得るからである。

【0036】

先の段落において説明した方法は、フレームCRCの検査によって示されるようなビット誤りがないように思われるフレームについてのみ考慮するように修正してもよい。これは破損されたデータによって生じる誤りを実質的に排除することになるだろうが、信号受信品質が低い場合には、非常に小さいバッファ占有推定値を通常与えることになるだろう。信号受信品質が低い場合には、一般的に、良好なCRCを有すフレームはほとんど観測されず、開始フレームおよび終了フレームとして特定されるフレームは、時間間隔 $[T_{START}, T_{END}]$ における実際の最初および最終フレームではない可能性がより高い。開始フレームおよび終了フレームとみなされるフレームに先行およびそれに続く、時間間隔におけるフレームは、それぞれ、計算された計数値から誤って除外されることがある。

10

【0037】

4. FIFOキューのバリエーション

上述の手法は、厳密にまたは少なくとも実質的にFIFOに準拠するキューイング手法を実施するためにバッファが使用されると仮定する。これらの手法を適合化して、他のキューイング手法の実施と共に働くようにすることもできる。以下の段落で説明する一手法は、異なるクラスのパケットに対して別々のFIFOキューを提供するものである。

20

【0038】

IEEE802.11準拠の技術を実施する処理装置10は、マルチクラスFIFOキューイング手法を使用するサービス品質 (Quality of Service: QoS) 拡張も含むことができる。IEEE802.11規格による一実施において、パケットは、MACヘッダ内のトラフィック識別子 (Traffic Identifier: TID) フィールドによって示される8つのキューイングクラスまたは優先度のうちの1つに置かれる。上述の手法を使用して、特定のキューイングクラスについてのバッファ占有レベルの推定を、当該クラスのパケットを特定および計数することによって行うことができる。

【0039】

上述の手順のうちのいくつかは、損失パケットによって生じる計数誤りを回避または削減するために使用される。特定のキューイングクラスについての損失パケット数の正確な推定値は、取得するのが遥かに困難である。なぜならば、各損失パケットは、可能なクラスのいずれにも属し得るからである。これに対しては、様々なやり方で対処できる。以下の段落では、2つの手法が説明されている。

30

【0040】

一手法において、受信器20は、TIDフィールドにおける値によって特定可能な各クラスにおけるすべてのパケットの移動平均を保持し、特定の期間内でそのTIDフィールドにおける値によって特定可能なパケット数を計数し、上述所処理を使用して、当該特定の期間内でTIDフィールドによって観測または特定できないような未分類パケット数を推定する。クラス毎の相対確率は、当該クラスの移動平均をすべての移動平均の合計で除算することによって計算される。所定の期間内での特定のクラスに属する未分類パケット数の推定値は、当該期間における未分類パケットの合計を当該クラスの相対確率で乗算することによって計算される。この推定値は、当該クラスについての計数値に加算される。

40

【0041】

本手法は、キューイング優先度を各キューイングクラスに関連付ける実施に改良することができる。この改良手法によれば、受信器20は、キューイングクラス毎にバッファ占有レベルの現行推定値を保持し、ゼロより大きいバッファ占有率を有する最高位の優先クラス以上のキューイング優先度を有するクラスについてのみ、移動平均から相対優先度を計算する。この改良は、より低い優先度のクラスにおけるパケットは特定の期間、出の送

50

信が不可能かまたはその見込みがないという観測に基づくものである。

【0042】

C. バッファ容量の推定

処理装置10におけるバッファの容量は、そのバッファが容量一杯にまで満たされたことを確認した後、バッファ容量レベルを推定するために上述の方法のいずれかを使用することによって推定してもよい。バッファは、処理装置10へあるレートでパケットのストリームを送出し、バッファをオーバーフロー状態にするのに十分に大きい長さを有することによって、容量一杯にまで満たすことができる。

【0043】

一実施において、パケットのストリームが、例えば100ミリ秒などの何らかの時間間隔で装置の送信レートを超えるレートで処理装置10へ送出された後、バッファ占有レベルが上述のように推定される。プローブパケットの他のストリームが、同じレートで処理装置10へ、200ミリ秒などのより長い時間間隔で送出され、その後、バッファ占有レベルは再度推定される。2つの推定レベル間に大きな差がない場合には、両パケットのストリームは、バッファをその容量一杯にまですることができたとみなすことができる。推定レベル間に大きな差がある場合には、推定レベルがこれ以上増加しなくなるまで、プローブパケットのより長いストリームを使用して処理を繰り返すことができる。

【0044】

バッファ容量の合理的に正確な測度は、バッファをその容量一杯にするのに十分なレートおよび長さのプローブパケットのいくつかのストリームを処理装置10へ送出し、ストリーム毎にバッファ占有推定値を取得し、当該推定値の平均を計算することによって取得できる。

【0045】

D. 他の応用

1. 競合トラフィック到着レートの推定

バッファ占有レベルの推定値を使用して、上記FEC最適化出願に開示された手法などの様々な応用と共に使用する他のパラメータの推定値を導出することができる。いわゆる推定され得るパラメータの1つは、リソースおよび通信帯域幅を処理するための、「主要パケット」のストリームと競合する「競合パケット」の到着レートである。これは、バッファ占有レベルがどのくらい速く変化しているかの測度を導出することによって、バッファ占有レベルがバッファ容量を下回る時の期間の間に行うことが可能である。

【0046】

例えば図1に示す通信システムを参照すると、データソース2によって送出されたパケットストリームは、先の段落において述べた主要パケットのストリームであるとする。装置におけるバッファ占有レベルがバッファ容量を下回る場合には、主要パケットおよびすべての他の競合パケットの到着レートの合計は、処理装置10によって送信されるパケットのレートと、バッファ占有レベルが変化するレートとの合計に等しくなることになる。例えば、時間 t_1 におけるバッファ占有レベルが b_1 であり、時間 t_2 におけるバッファ占有レベルが b_2 である場合、バッファオーバーフローによって生じるパケット損失がなければ、以下の等式が成立する。

【0047】

【数2】

$$p_A + p_C = \frac{b_2 - b_1}{t_2 - t_1} + p_D \quad (2)$$

式中、 b_1 = 時間 t_1 におけるバッファに記憶されたパケット数であり、

b_2 = 時間 t_2 におけるバッファに記憶されたパケット数であり、

p_A = 主要パケットの到着レートであり、

p_C = 競合パケットの到着レートであり、

p_D = 全パケットの送信レートである。

【0048】

レートおよび時間は、実質的に任意の所望の時間単位で表してもよいが、FEC最適化出願に規定されたような時間スロットと称される均一の時間間隔でこれらの値を表すのが好都合であろう。これらの時間スロットの長さの確立は、任意の所定の時間スロットにおいて、パケット処理装置10が特定のストリームからパケットを受信でき、競合パケットを受信でき、パケットを送信できるが、ある時間スロットで受信可能なのはたった1つの指定されたパケットおよびたった1つの競合パケットであり、ある時間スロットで送信可能なのはたった1つのパケットであるように行われる。これは、 $0 \leq p_A, p_C, p_D \leq 1$ のように表すことができる。

【0049】

10

多くの応用において、主要パケットの到着レート p_A は、アプリアリに受信器20に対して指定され、送信レート p_D は、ある期間にわたって処理装置10によって送信されるパケット数を計数し、時間スロットまたは任意の他の所望の単位期間毎の平均を計算することによって測定される。時間 t_i についてのバッファ占有レベル b_i は、上述の方法のいずれかを使用することによって推定できる。競合パケットの到着レートは、以下の式から推定でき、この式は、式(2)を再構成することによって取得される。

【0050】

【数3】

$$p_C = \frac{b_2 - b_1}{t_2 - t_1} + p_D - p_A \quad (3)$$

20

式(3)から計算されたレートは、バッファ占有レベルが増加または減少している期間において有効であるが、バッファがオーバーフローするか、任意の他の理由でパケットが失われる場合には有効ではない。所望であれば、競合パケットの到着レートは、いくつかの推定値の直線または移動平均から導出することができる。

【0051】

2. 送信レートの推定

バッファが空でない場合、バッファ占有の推定値を使用して、FEC最適化出願に開示された手法などの様々な応用において使用する送信レートパラメータ p_D を導出することができる。このパラメータは、バッファにキューイングされたパケットがあって送信準備ができていない場合に処理装置10が達成可能な送信レートを表す。ある期間にバッファが空でない場合には、この間隔の間の送信レートの推定値は、この期間に送信されるパケット数を計数し、上述のように平均レートを計算することによって計算してもよい。

30

【0052】

しかしながら、計数している期間の全部または一部の間にバッファが空である場合には、このパラメータを計算するための何らかの他の手法が必要である。なぜならば、観測されたパケットの平均レートは、バッファが空でない場合に装置が達成可能な送信レートより小さく見積もられる可能性が高いことになるからである。衝突防止付きキャリア検出多重アクセス(Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance: CSMA/CA)プロトコルを使用するネットワークにおいて適用されるような一方法を以下に説明する。本方法の精度は、CSMA/CAプロトコルのある特性に基づき、パケットが到着して送信に供される場合に空であるバッファに基づく。CSMA/CAプロトコルの関連する特性およびバッファが空であるかどうかを判断するために使用されるような手法を以下に説明する。

40

【0053】

3. 送出レートの制御

バッファ占有レベルの推定値を使用して、処理装置10におけるバッファオーバーフローを防止するために1つ以上のデータソースの送出レートを制御することができる。早期輻輳通知(Early Congestion Notification: ECN)と一般的に称される特徴を使用するレート制御の既知の方法があるが、このような既知の方法

50

は、処理装置10に対して、バッファ占有レベルを監視し、バッファ占有レベルがある閾値を超える場合にパケットにおける特別なECNフラグを設定することを要求するものである。パケットの所期の受信器がECNフラグを検出すると、受信器は、ECNフィードバックパケットを対応するデータソースへ送出する。データソースは、その送出レートを減少させることによってECNフィードバックパケットに応答する。

【0054】

残念なことに、ECNは、広範に実施されない。さらに、処理装置10が例えば無線アクセスポイントである場合には、当該装置がECNを実施するのは適切でない。開放型システム間相互接続(Open Systems Interconnection:OSI)参考モデルによれば、ECNフラグは、OSIレイヤ3(ネットワーク層)において動作する装置によって設定されるべきである。ルータは、典型的にはOSIレイヤ3で動作するが、無線アクセスポイントは、有線および無線ネットワーク間の実質的なブリッジであって、典型的にはOSIレイヤ2(リンク層)で動作する。

【0055】

既知のECN制御方法とは異なり、本明細書において説明される制御方法は、処理装置10における特殊な特徴または機能を何ら必要としない。本方法によれば、受信器20は、上述のような方法を使用してバッファ占有レベルを監視し、バッファ占有推定レベルが1つ以上の基準を満たす場合にはいつでも、対応するデータソースへECNフィードバックパケットを送出する。例えば、受信器20は、推定バッファ占有レベルがある閾値を超える場合には、ECNフィードバックパケットを送出するなどの単純な手法を実施することができる。所望であれば、受信器20は、占有の変化率および占有レベルを考慮するなど、特定のデータソースについて最適化されたより高度な手法を実施することができる。

【0056】

本方法を伝送制御プロトコル(Transmission Control Protocol:TCP)を使用する単一ホップのネットワークに使用することができる。TCPによって、データソースは、パケット損失が生じていると通知されるまで、その送出レートを増加させる。通知に応答して、データソースは、その送出レートを減少させた後、より低いレートで再び増加させる。この処理を繰り返すと、送出レートが変動する。この処理の欠点の1つは、パケット損失に依存することである。この損失は、許容できないか、または、ストリーミングマルチメディアアプリケーションなどのアプリケーションにおいては少なくとも非常に好ましくない場合がある。このような種類のアプリケーションでは、送出レートは、パケット損失を要せずに制御されるべきである。

【0057】

本発明のバッファ占有推定手法を使用する制御処理は、この欠点を有しない。パケット損失は必要ないのである。受信器20は、差し迫ったバッファオーバーフローを検出し、パケット損失が生じたかのように同一の通知を使用してデータソースに通知する。この通知は、バッファ占有レベルが閾値を超える場合に開始することができる。この閾値の厳密な値は、ある応用においては重要でない場合もある。なぜならば、ゼロを超えるバッファ占有率であれば、それは送出レートが高すぎることを示すものであるからである。

【0058】

E. クロック同期

上述のバッファ占有推定手法は、プローブパケットのデータソースおよび受信器20が互いに同期するクロックを使用することを仮定している。これらの手法は、2つのクロックが同期せず、ほぼ一定量またはゆっくりと変化する量だけ互いに異なる状況を明らかにするように適合化してもよい。受信器20は、データソースクロックの表象を調整して、自身のクロックとの同期を達成する。簡易化仮定に基づく基本的な調整手法をまず説明する。その後で、この仮定に基づかない、より複雑な手法を説明する。

【0059】

例えば、図1に示す通信システムを参照すると、プローブパケットは、データソース2によって時間 t_s に送出され、パケットは、通信路11に沿って処理装置10へ伝搬する

。パケットが到着したときに処理装置 10 におけるバッファが空である場合には、パケットは通信路 11 に沿って一定の非常に短い処理時間間隔の直後に送信されると仮定される。送信されたパケットは、その後に即座に受信器 20 によって観測される。送出時間 t_s と観測時間 t_R との間の遅延 ε は、通信路 3 および通信路 11 の合計伝播時間の合計に、パケットをバッファリング、取り出し、および送信する処理装置 10 の処理時間を加えたものに等しい。通信路 3 が IEEE 802.3 規格のうちの 1 つに準拠し、通信路 11 が IEEE 802.11 規格のうちの 1 つに準拠する場合には、遅延 ε は、典型的には 1 ミリ秒程度となろう。

【0060】

受信器 20 におけるクロックを基準として表されるような観測時間 T_R と真の送信時間 t_s との間の遅延は、以下のように表すことができる。

【0061】

【数 4】

$$\varepsilon = t_r - t_s \quad (4)$$

真の送信時間 t_s は、式 (4) を再構成することによって以下のように表すことができる。

【0062】

【数 5】

$$t_s = t_R - \varepsilon = t_s + \delta \quad (5)$$

式中、 δ = 送出クロックと受信クロックとを同期させるための調整値である。

【0063】

遅延 ε が正確な推定値であるとする、受信器 20 は、式 (5) を再構成したものである以下の式を使用して、調整値 δ について合理的に正確な値を計算することができる。

【0064】

【数 6】

$$\delta = t_R - t_s - \varepsilon \quad (6)$$

【0065】

計算された値 δ におけるどのような誤りも、せいぜい遅延 ε の大きさである。この計算された値を使用することによって、 ε の値が処理装置 10 において典型的に生じるキューイング遅延に比べて非常に小さい場合には、2つのクロックを合理的な精度で同期させることができる。例えば、遅延 ε が 1 ミリ秒であり、キューイング遅延が 100 ミリ秒である場合、バッファが満杯であれば、受信器 20 によって観測されるクロック時間に誤りがある確率はせいぜい 1 パーセント以下となり、上述の手法は、せいぜい 1 パーセントの誤りを有するバッファ容量を推定することができる。

【0066】

遅延 ε の値が比較的大きいが一定の場合、送出クロックと受信クロックとの間の正確な同期は、通信路 3 に沿った伝搬遅延を遅延 ε の値から除外することによってさらに達成することができる。上述の手法は、送出時間 t_s とプローブパケットが処理装置 10 に到着する時間とが実質的に等しいという仮定に基づいている。この仮定が真でないほど経路 3 に沿った伝搬遅延が大きい場合には、プローブパケットの送出時間 t_s は、経路 3 に沿った伝搬遅延を除外する遅延 ε の値を使用して調整値 δ を計算することによって、この条件を補償するように調整され得る。

【0067】

上述のクロック同期のための手法は、何らキューイング遅延なく、プローブパケットが通信路 11 に沿って処理装置 10 によって送信されると仮定することで簡略化される。この仮定の下で、プローブパケットの送信は、処理装置 10 がプローブパケットを処理して受信および送信に供する、一定で非常に短い期間だけ遅延される。この仮定は、他の送信

10

20

30

40

50

器からの雑音または競合トラフィックによって、処理装置 10 のパケット送信準備ができている場合に通信路 11 がアイドル状態であることができない場合には、有効でない。このような状況において、パケットは、さらなる遅延を受けることになる。なぜならば、処理装置 10 は、パケットを送信可能である前に、通信路 11 がアイドルになるまで待たなければならないからである。通信路 11 が例えば CSMA/CA プロトコルを実施する場合には、処理装置 10 が待つことになる時間量は、受信器 20 などの他の装置によって正確に計算または予測することができない。その結果、クロック調整値 δ は、正確に計算することができない。

【0068】

雑音または競合トラフィックによって生じた、計算された値 δ における誤りは、通信路 11 がプローブパケットの送信時間 t_R 以前の特定の期間にアイドルである場合にのみ受信器 20 にクロック調整値 δ を計算させることによって回避できる。IEEE 802.11 準拠のネットワークにおいて、この特定の期間は、少なくとも上述の DIFS 期間と同じ長さであるべきである。受信器 20 が観測できない送信を処理装置 10 が検出できる場合には、受信器 20 は、通信路 11 がいつアイドルであるかを確実に判断することはできない。この状況によって生じる問題は、受信器 20 にクロック調整値 δ を複数回計算させて、複数の値を比較することによって、回避または少なくとも軽減することができる。異なる計算によって、 δ について実質的に同一の値を生じさせる場合には、計算枚のプローブパケットは、いずれのキューイング遅延をも受けない可能性がある。受信器 20 は、 δ についての計算値が十分に信頼性のあるものとなるまで、計算を繰り返すことができる。

【0069】

受信器 20 は、プローブパケットを受信する毎にクロック調整値 δ を送出時間値 t_s に適用する。送出および受信クロックが互いにずれなければ、 δ の値は、所望であれば、通信セッション毎に 1 度だけ判断すればよい。2 つのクロック間の差が変化する場合には、調整値 δ の修正値を所望時に判断してもよい。

【0070】

1. バッファが空であるかどうかの判断

クロック調整値 δ は、処理装置 10 におけるバッファが測定時に空であれば、合理的な精度で測定することができる。上述のバッファ占有推定手法は、バッファが空であるかどうかを正確に判断することができない。なぜならば、これらの手法の精度は、データソースのロックと受信器のクロックとが同期することに依存するからである。以下の段落で説明する手法は、通信路 11 が自律分散制御 (Distributed Coordination Function: DCF) と称される CSMA/CA プロトコルを使用する場合に、バッファが空であるかどうかを受信器 20 がより確実に判断することによって実施できる。本手法の基礎となる原理は、異なる通信技術を使用するネットワークにおいて必要に応じて適合または適用可能である。

【0071】

IEEE 802.11 規格に準拠する CSMA/CA ネットワークにおいて、処理装置 10 は、パケットを送信しようとする前に、通信路 11 がビジーかどうかを判断する。

通信路 11 が分散制御用フレーム期間 (Distributed Interframe Space: DIFS) として知られる特定の期間にビジーでない場合は、DIFS = 50 マイクロ秒と表してもよいが、処理装置 10 は、パケットを送信した後、パケットがうまく受信された旨の所期の受信器からの肯定応答 (ACK) を待つ。処理装置 10 が短フレーム期間 (Short Interframe Space: SIFS) として知られる 10 マイクロ秒の所定の期間後に ACK を受信しない場合には、パケットを再送信することになる。通信路 11 がビジーまたは再送信が必要な場合には、処理装置 10 は、送信を試みる前に、計算された期間に通信路 11 がアイドルになるまで待つ。期間は、DIFS 期間に、後述の「バックオフアルゴリズム」によって計算された「バックオフ期間」を追加したものに等しい。処理装置 10 は、観測されたトラフィックに基づいて、キャリア検知回路と仮想キャリア検知 (VCS) 指標との組み合わせを使用して、通信路 11 が

ビジーかどうかを判断する。この処理の詳細は、本発明の原理を理解するのに必要ないので、本説明では省略される。

【0072】

バックオフアルゴリズムは、以下の式に従って、いくつかの時間スロットに等しいバックオフ期間を計算する。

【0073】

【数7】

$$T_w = R \cdot TS \quad (7)$$

式中、R＝期間〔0、CW〕における乱数または疑似乱数であり、

CW＝競合ウィンドウ期間であり、

TS＝時間スロットの期間である。

【0074】

例えばIEEE802.11bでは、時間スロットTSの長さは、20マイクロ秒であり、競合ウィンドウ(CW)期間は、初期最低値 $CW_{min} = 31$ （時間スロット）を有する。例えばIEEE802.11gでは、時間スロットTSの長さは、9マイクロ秒であり、CW期間は、初期最低値 $CW_{min} = 15$ （時間スロット）を有する。CWウィンドウの長さは、後述するように、最大1023（時間スロット）まで増加させてもよい。

【0075】

処理装置10は、カウントダウンタイマを使用して、送信を試みる前に T_w に等しい時間間隔だけ待つ。通信路11がビジーであると処理装置10が検知した場合には、カウントダウンタイマは、通信路11がDIFS期間でアイドルの状態となるまで中止される。カウントダウンタイマがゼロに到達すると、処理装置10は送信を試みる。所期の受信器20からACKを受信すると、処理装置10は、CWをその最小値 CW_{min} にリセットして、次のパケットの送信準備に入る。ACKが受信されない場合には、CWの値は倍増されて最大許容値とされて、処理は、次に試行される送信のために繰り返される。

【0076】

後述の手法は、パケットの第1回目または最初の送信について観測された待ち時間に基づく。パケットの第1回目の送信は、 $Retry_flag$ と称されるビットの値によって、当該パケットのすべての後続の再送信とは区別することができる。 $Retry_flag$ は、1回目の送信ではゼロに設定され、後続の再送信ではどれでも1に設定される。本手法は、処理装置10によるパケットの第1回目の送信の前に、同一または近傍のネットワークにおける他の送信器からの送信を含む他の送信が生じないDIFS+ T_{wx} に等しい、可能な限り最大の待ち時間がある場合、処理装置10内のバッファが空であるとかかることに基づいている。期間 T_{wx} は、以下のように表してもよい。

【0077】

【数8】

$$T_{wx} = CW_{min} \cdot TS \quad (8)$$

受信器20が時間 t_R においてパケットを受信して、期間〔 $t_R - (DIFS + T_{wx})$ ， t_R 〕の間に他の送信が観測されない場合には、処理装置10内のバッファは、送信されたパケットが送信器に到着したときに空であったことがわかる。言い換えれば、このアイドル期間は、この特定のパケットの送信がいかなるキューイング遅延によっても延期されていないことを示唆するのに十分な条件である。この条件は、キューイング遅延されたパケットが時間 t_R においてまだ観測されると仮定すると矛盾が生じることによって証明できる。

【0078】

この例において、 t_R は、パケットの最初のビットが受信器20によって観測される時間として定義される。代わりに、受信器20がパケットの最終ビットが受信される時間を検出する場合には、最初のビットの観測時間は、以下の式から取得できる。

10

20

30

40

50

【0079】

【数9】

$$t_R = t_{LAST} - \frac{B}{V} - T_{PRE} \quad (9)$$

式中、 t_{LAST} = パケット内の最終ビットの観測時間であり、

B = パケット内のビット数であり、

V = 毎秒ビット単位での送信レートであり、

T_{PRE} = すべてのフレームのプリアンプル情報を受信する時間間隔である。

【0080】

10

パラメータ B および V の値は、受信器 20 内のカスタマイズされた IEEE 802.11 準拠のデバイスドライバから取得できることが多いが、時間間隔 T_{PRE} の値は、取得できないことが多い。この値が別の方法で入手可能でない場合には、経験的なテストによって決定された値を使用するか、適切な通信プロトコルの仕様を参考にするか、または望ましいであろう任意の他のやり方によって、満足のゆく結果を達成することができる。例えば、IEEE 802.11b および 802.11g 準拠の通信路については、適切な仕様によれば、間隔 T_{PRE} の値は、それぞれ 192 μ 秒および 24 μ 秒である。

【0081】

上述のアイドル期間は十分な条件であるが、バッファが空であることは必要条件ではないことを指摘するのが有用であろう。この理由から、本手法は、通信路 11 が常に頻繁に使用されているわけではないネットワークにより適している。本手法は、可能な限り最大限の初期待ち時間 T_{WX} が知られている場合には、ある種の衝突回避手法を使用する他の通信プロトコルのためにも使用できる。

20

【0082】

バッファはプローブパケットについて空であると受信器 20 が判断すると、クロック調整係数 δ が測定されて、受信器 2 とデータソースクロックとを同期させるために使用できる。その後、上述の手法を使用して、バッファ占有レベルを推定することができる。

【0083】

F. バッファが空である場合の送信レートの推定

受信器 20 は、上述の手法を使用して、装置内のバッファが空でなければ、処理装置 10 によって単位期間毎に送信されるパケットの平均数を計算することによって、送信レートパラメータ p_D の正確な推定値を取得することができる。バッファが空の場合には、パケットは送信されないの、バッファが空の場合には、このパラメータを正確に推定するための何らかの他の手法を使用すべきである。 p_D を推定するために使用されるような手法の 1 つを以下に説明する。この手法は、処理装置 10 が M 個の固有パケットそれぞれを送信するのに必要とする個々の時間 T_T の合計 ΣT_T を推定し、合計 ΣT_T で M を割った商を計算することによって、送信レートパラメータを導出する。パケットを送信するために必要な個々の時間間隔を推定する本手法は、以下の段落に説明する CSMA/CA プロトコルのある特性を使用する。

30

【0084】

40

図 6 および図 7 は、通信路 11 などの通信チャンネル上で観測されるフレームのストリームによって伝達されたパケットを示す。図 6 を参照すると、パケット P_n を伝達するフレームが処理装置 10 によって送信されている。パケット P_x , P_y , P_z を伝達するフレームが処理装置 10 以外の 1 つ以上の装置によって送信され、競合トラフィックを表している。図 7 を参照すると、パケット P_{n-1} および P_n を伝達するフレームが処理装置 10 によって送信されている。パケット P_x , P_y , P_z を伝達するフレームが処理装置 10 以外の 1 つ以上の装置によって送信され、競合トラフィックを表している。本明細書において説明するモデルのために、すべての競合トラフィックは、所望であれば単一の装置から生じるものとして捉えてもよい。チャンネルビジー時間 T_{BUSY} は、競合トラフィックのフレームが観測される時間間隔を表す。フレーム間到着時間 T_{IFA} は、競合ト

50

ラフィックの連続フレーム間の時間間隔を表す。チャンネル送信時間 T_{XMIT} は、フレーム間到着時間内に処理装置 10 によって送信されるすべてのフレームが観測される期間の累積期間を表す。図 6 に示す例において、チャンネル送信時間 T_{XMIT} は、パケット P_n を伝達するフレームを送信するのに必要な時間と等しい。図 7 に示す例において、チャンネル送信時間 T_{XMIT} は、パケット P_{n-1} および P_n を伝達するフレームが観測される個々の時間 T_X の合計に等しい。チャンネルアイドル時間 T_{IDLE} は、トラフィックが観測されない期間の期間を表す。

【0085】

チャンネルビジー時間 T_{BUSY} 、チャンネル送信時間 T_{XMIT} 、およびフレーム間到着時間 T_{IFA} の統計分布および確率密度関数は、通信チャンネル上のトラフィックを観測することによって推定することができる。各時間についての平均は、推定された統計分布から計算することができる。通信チャンネルが競合トラフィックを伝達している確率 λ は、以下の式から計算してもよい。

【0086】

【数10】

$$\lambda = \frac{\bar{T}_{BUSY}}{\bar{T}_{BUSY} + \bar{T}_{IFA}} \quad (10)$$

式中、

【0087】

【数11】

$\bar{T}_{BUSY}$

は、平均チャンネルビジー時間であり、

【0088】

【数12】

$\bar{T}_{IFA}$

は、平均フレーム間到着時間である。

【0089】

通信チャンネルが処理装置 10 によって送信されたトラフィックを伝達している確率 ϕ は、以下の式から計算してもよい。

【0090】

【数13】

$$\phi = \frac{\bar{T}_{XMIT}}{\bar{T}_{BUSY} + \bar{T}_{IFA}} \quad (11)$$

式中、

【0091】

【数14】

$\bar{T}_{XMIT}$

は、平均チャンネル送信時間である。

【0092】

後述のモデルを使用して、待ち時間 W_T と、処理装置 10 がパケットを伝達するフレームについての情報のすべてを通信路 11 に注入するのに必要な時間 T_X との合計である、パケットを送信するのに必要な時間間隔 T_T を推定することができる。このモデルは、4 つの一般的な状況を含み、これらの情報の例は図 8 A ～ 図 8 F に示されている。

【0093】

第 1 の状況において、データソースからのパケット P_n が、競合トラフィック直後のチ

10

20

30

40

50

チャンネルアイドル期間の時間 t_Q に処理装置 10 に到着し、その到着直後に送信準備完了となる。このモデルでは、パケット到着時間と、パケットが送信準備完了となる時間との間の遅延は無視できると仮定される。第 1 の状況の例を、図 8 A および図 8 C に示す。期間 T_A は、パケット到着時間 t_Q 前に生じるチャンネルアイドル時間 T_{IDLE} の部分である。

【0094】

第 2 の状況において、データソースからのパケット P_n が、チャンネルビジー期間の間の時間 t_Q に処理装置 10 に到着し、その到着直後に送信準備完了となる。第 2 の状況の例を、図 8 B および図 8 D に示す。期間 T_B は、パケット到着時間 t_Q 後に生じるチャンネルビジー時間 T_{BUSY} の部分である。

10

【0095】

第 3 の状況において、データソースからのパケット P_n が、処理装置 10 がパケット P_{n-1} を送信した直後のチャンネルアイドル期間の間の時間 t_Q に処理装置 10 に到着し、パケット P_n は、その到着直後に送信準備完了となる。第 3 の状況の例を、図 8 E に示す。期間 T_A は、パケット到着時間 t_Q 前に生じるチャンネルアイドル時間 T_{IDLE} の部分である。

【0096】

第 4 の状況において、データソースからのパケット P_n が、処理装置 10 がパケット P_{n-1} を送信している間の時間 t_Q に処理装置 10 に到着し、パケット P_n は、パケット P_{n-1} の送信が完了した直後に送信準備完了となる。第 4 の状況の例を、図 8 F に示す。期間 T_B は、パケット到着時間 t_Q 後に生じるチャンネルビジー時間 T_{BUSY} の部分である。

20

【0097】

これらの各状況は、統計的にモデル化できる。処理装置 10 の待ち時間 W_T を推定してパケット P_n を送信するために使用可能な入力パラメータ v を伴うアルゴリズムを概略的に示すソースコードプログラムのフラグメントを以下に示す。入力パラメータ v は、パケット P_n の直前のパケットが何らかの他の装置によって送信された競合パケット P_Y であるには、ゼロがセットされる。入力パラメータ v は、パケット P_n の直前のパケットが処理装置 10 によって送信されたパケット P_{n-1} である場合には、1 に等しく設定される。本開示に示されるこのプログラムフラグメントおよび他のプログラムフラグメントは、C プログラミング言語の構文上の特徴を有するステートメントを含むが、特定の言語または実施は重要ではない。これらのプログラムフラグメントは、完全に実用的かつ効率的な解決策であるとされるわけではなく、当業者が実際の解決策を実施できるようにするのに十分な基本原則を示すように提示されるに過ぎない。

30

【0098】

```
[1.0] int calc_wait_time(int v){
[1.1]   if (T_idle[0]>(DIFS+T_wx))
[1.2]       WT=0;                                     //図 8 A
[1.3]   else if (T_idle[0]==DIFS)
[1.4]   {
[1.5]       T1=0.5*DIFS;                               //図 8 A
[1.6]       T2= (DIFS+0.5*T_busy[0])                  //図 8 B, CW=0
[1.7]       WT=Pr1*T1+Pr2*T2
[1.8]   }
[1.9]   else if (T_idle[0]>DIFS && T_idle[0]<=(DIFS+T_wx))
[1.10]   {
[1.11]       T3=0;                                     //図 8 A
[1.12]       T4=(T_idle[0]*(1-0.5*v)+
[1.13]           0.5*T_busy[0])*(1-v);                  //図 8 B, 0<CW<=CWmin
```

40

50

```

T_idle[1]+0.5*T_busy[1]);          //図 8 D, 0<CW<=CWmin
[1.14] T6=(T_idle[0]+T_busy[0]+
      T_idle[1]+T_busy[1]+
      T_idle[2]+0.5*T_busy[2]);
[1.15] WT=Pr3*T3+Pr4*T4+
      Pr5*T5+Pr6*T6
[1.16] }
[1.17] else
[1.18]   WT=-1;          //推定待ち時間は未定義
[1.19] return WT;
[1.20] }
【0099】

```

10

プログラム変数 $DIFS$ および T_{wx} は、上述の時間間隔 $DIFS$ および T_{wx} をそれぞれ表す。アレイ要素 $T_idle[n]$ および $T_busy[n]$ は、図示の期間 $T_{IDLE, n}$ および $T_{BUSY, n}$ をそれぞれ表す。変数 $T1$ から $T6$ は、待ち時間の計算の仮結果を記憶する。変数 $Pr1$ から $Pr6$ は、後述の確率を表す。

【0100】

ステートメント [1. 1] を参照すると、 $DIFS + T_{wx}$ は、パケットの最初の送信を試みる前に待つ必要があり得る、予想最長チャンネルアイドル期間を表す。パケット P_n の送信の直前のチャンネルアイドル時間 $T_idle[0]$ がこの期間よりも大きい場合には、パケット P_n は、キューイング遅延にもバックオフ待ち遅延にも遭遇しなかったことがわかる。待ち時間 WT は、ステートメント [1. 2] においてゼロに設定される。

20

【0101】

ステートメント [1. 3] を参照すると、パケット P_n の送信の直前のチャンネルアイドル時間 $T_idle[0]$ が期間 $DIFS$ に等しい場合には、パケットは、図 8 A または図 8 E に示すようなチャンネルアイドル時間 $T_{IDLE, 0}$ の間または図 8 B に示すようなチャンネルビジー時間 $T_{BUSY, 0}$ の間に処理装置 10 に到着したことがわかる。ステートメント [1. 6] を参照すると、パケット P_n が図 8 A に示すように競合パケットの直後のチャンネルアイドル時間 $T_{IDLE, 0}$ の間に到着した場合には、 $T2$ につ

ての計算は、当該競合パケットについてのチャンネルビジー期間 $T_{BUSY, 0}$ の期待値を含む。パケット P_n が図 8 E に示すようにパケット P_{n-1} の直後のチャンネルアイドル時間中に到着した場合には、 $T2$ についての計算は妥当でない。なぜならば、以下の式 (13) および式 (15) に示すように $v = 1$ である場合には、対応する確率 $Pr2$ はゼロだからである。パケットがチャンネルビジー期間 $T_{BUSY, 0}$ の間に到着した場合には、バックオフアルゴリズムは、式 (7) に示すようなゼロに等しいバックオフ期間 T_w を計算しただろう。パケットは、 $T_{IDLE, 0}$ 期間の最後などで遅く到着して、すぐに送信されただろう。パケットは、 $T_{BUSY, 0}$ 期間の開始などで早く到着しただろうが、それより早くは到着しなかっただろう。なぜならば、例えば図 8 C に示すように $T_{IDLE, 1}$ 期間の間で早く到着していれば、 $T_{IDLE, 1}$ 期間の間に送信されたであろうからである。

30

40

【0102】

本モデルは、チャンネルアイドル期間およびチャンネルビジー期間の間のパケット到着時間の確率密度関数を仮定する。到着時間が $T_{IDLE, 0}$ 期間の間で生じる場合には、期待または平均待ち時間 $T1$ (ステートメント [1. 5] 参照) は、この期間の半分に等しい。この状況は、確率 $Pr1$ で生じる。到着時間が競合パケット直後の $T_{BUSY, 0}$ 期間の間で生じる場合には、送信前の期待待ち時間 $T2$ (ステートメント [1. 6] 参照) は、 $DIFS$ にこの期間の半分を足した分に等しい。到着時間が競合パケットではないパケット P_{n-1} 直後の $T_{BUSY, 0}$ 期間の間で生じる場合には、チャンネルビジー期間の期待値は、上述のような計算から除外される。これらの 2 つの状況は、等しく同様で

50

あり、まとめて確率 Pr_2 で生じると仮定される。その結果、推定待ち時間 W_T は、ステートメント [1. 7] に示すような各発生確率を乗算した平均待ち時間の合計から取得される。

【0103】

確率 Pr_1 および Pr_2 は、以下の式から取得してもよい。

【0104】

【数15】

$$Pr_1 = \frac{PI1}{PI1 + PB1} \quad (12)$$

$$Pr_2 = \frac{PB1}{PI1 + PB1} \quad (13)$$

$$\text{式中 } PI1 = (1 - v \cdot \varphi - \lambda) \cdot \frac{DIFS}{\bar{T}_{IFA}} \cdot \left(\frac{1 + (1 - v) \cdot CW_{min}}{CW_{min} + 1} \right) \quad (14)$$

$$PB1 = \lambda \cdot \frac{(1 - v)}{CW_{min} + 1} \quad (15)$$

$$v = \begin{cases} 0 = \text{前のパケットは、競合パケットである} \\ 1 = \text{前のパケットは、競合パケットでない} \end{cases} \quad (16)$$

$PI1$ は、パケット P_n がチャンネルアイドル期間の間に到着する確率であり、 $PB1$ は、パケット P_n がチャンネルビジー期間および $T_W = 0$ の間に到着する確率である。

【0105】

式 (14) における項 $(1 - v - \psi - \lambda)$ は、パケット P_n がチャンネルアイドル期間の間に到着する確率を表し、その平均期間は、平均フレーム間到着時間

【0106】

【数16】

$\bar{T}_{IFA}$

であり、式中の残りの計数は、この確率を重み付けして、実際の $T_{IDLE, 0}$ 期間は長さが $DIFS$ に過ぎないことと、バックオフ期間 T_W はゼロに等しい値を有しなければならない、これは、先行パケットが競合パケットでなければ、 $CW_{min} + 1$ の予想値の合計のうちの1つの可能性であることとを明らかにする。

【0107】

式 (15) における項 λ は、パケット P_n がチャンネルビジー期間に到着する確率を表し、式中の残りの計数は、この確率を重み付けして、先行パケットが競合パケットであることと、バックオフ期間 T_W はゼロに等しい値を有しなければならない、これは $CW_{min} + 1$ の予想値の合計のうちの1つの可能性であることとを明らかにする。

【0108】

ステートメント [1. 9] を参照すると、パケット P_n の送信直前のチャンネルアイドル時間 $T_{idle} [0]$ が期間 $DIFS$ よりも大きいと予想最長待ち時間 $DIFS + T_{wx}$ よりも大きくない場合には、パケットは、送信直前のチャンネルアイドル期間の間か、または送信前のチャンネルビジー期間のうちの1つの間のいずれかに到着したことがわかる。パケットがチャンネルビジー期間のうちの1つの間に到着した場合には、バックオフアルゴリズムは、ゼロよりも大きい $CW_{min} \cdot TS$ 以下であるバックオフ期間 T_W を計算していただろう。

【0109】

到着時間が $T_{IDLE, 0}$ 期間の間で生じる場合には、送信前の待ち時間 T_3 (ステートメント [1. 11] 参照) は、ゼロか、または実質的にゼロであることがわかる。なぜならば、唯一の遅延は、処理装置 10 における処理によるものであり、これは無視できる

10

20

30

40

50

と仮定されるからである。この状況は、確率 $P r 3$ で生じる。到着時間が $T_{B U S Y, 0}$ 期間の間で生じる場合には、予想待ち時間 $T 4$ （ステートメント [1. 12] 参照）は、この期間の半分に後続のチャンネルアイドル期間を加えたものに等しい。この状況は、確率 $P r 4$ で生じる。到着時間が以前のチャンネルビジー期間のうちの1つの間で生じる場合には、予想待ち時間は、この期間の半分に送信時に終了するすべての後続のビジーおよびアイドル期間を加えたものに等しい（ステートメント [1. 13] およびステートメント [1. 14] 参照）。これらの状況は、どのビジー期間がパケット到着時間に一致するかによって様々な確率 $P r 5$, $P r 6$ などによって生じる。しかしながら、これらの状況は、穿孔パケットが競合パケットでなければ生じ得ないことがわかる。これは、確率 $P r 5$, $P r 6$ を計算するために使用されるような式 (19) および式 (20) における項 $(1 - v)$ によって明らかである。推定待ち時間 W_T は、これらの待ち時間にステートメント [1. 15] に示すような各発生確率を乗算したものから取得される。項 $P r 3 * T 3$ は、概念を示す目的にのみ合計に含めている。実際の実施においては、この項はゼロに等しいので除外することができよう。

【0110】

確率 $P r 3$ から $P r 6$ は、以下の式から取得してもよい。

【0111】

【数17】

$$Pr3 = \frac{PI2}{PI2 + PB2A} \quad (17)$$

$$Pr4 = \frac{PB2}{PI2 + PB2A} \quad (18)$$

$$Pr5 = (1 - v) \cdot \left(\frac{PB3A}{PI2 + PB2A} \right) \quad (19)$$

$$Pr6 = (1 - v) \cdot \left(\frac{PB4A}{PI2 + PB2A} \right) \quad (20)$$

$$\text{ここで } PI2 = \begin{cases} (1 - \varphi - \lambda) \cdot \left(\frac{CW_{\min} \cdot TS}{\bar{T}_{IFA}} \right) = (1 - \varphi - \lambda) \cdot \frac{T_{WX}}{\bar{T}_{IFA}} & v=0 \text{ について} \\ (1 - \varphi - \lambda) \cdot \left(\frac{\sum_{R=0}^{G-1} (G-R) \cdot TS}{\bar{T}_{IFA}} \right) = (1 - \varphi - \lambda) \cdot \frac{G \cdot (G+1) \cdot TS}{2\bar{T}_{IFA} \cdot (CW_{\min} + 1)} & v=1 \text{ について} \end{cases} \quad (21)$$

$$PB2 = \begin{cases} (\varphi + \lambda) \cdot \frac{CW_{\min}}{CW_{\min} + 1} & v=0 \text{ について} \\ (1 - \varphi - \lambda) \cdot \frac{DIFS + G \cdot TS}{\bar{T}_{IFA} \cdot (CW_{\min} + 1)} & v=1 \text{ について} \end{cases} \quad (22)$$

$$G = \frac{T_{IDLE,0} - DIFS}{TS} \quad (23)$$

$$PB3A = PB3 \cdot \frac{CW_{\min,1} + 1}{\bar{T}_{IFA}} \quad (24)$$

$$PB3 = (\varphi + \lambda) \cdot \frac{CW_{\min,1} + 1}{CW_{\min} + 1} \quad (25)$$

$$CW_{\min,1} = \max \left(0, CW_{\min} - \frac{T_{IFA,1} - DIFS}{TS} \right) \quad (26)$$

10

20

30

40

50

$$PB4A = PB4 \cdot \frac{CW_{min,2} + 1}{T_{IFA}} \cdot \frac{CW_{min,3} + 1}{T_{IFA}} \quad (27)$$

$$PB4 = (\varphi + \lambda) \cdot \frac{CW_{min,2} + 1}{CW_{min} + 1} \quad (28)$$

$$CW_{min,2} = \max \left(0, CW_{min} - \frac{T_{IFA,2} - DIFS}{TS} \right) \quad (29)$$

$$CW_{min,3} = \max \left(0, CW_{min,2} - \frac{T_{IFA,1} - DIFS}{TS} \right) \quad (30)$$

$$PB2A = PB2 + (1 - \nu) \cdot (PB3A + PB4A + \dots) \quad (31)$$

シンボル $CW_{min, n}$ は、 $T_{BUSY, n}$ 期間についてのバックオフアルゴリズムによって使用される初期競合ウィンドウを示し、シンボル $T_{IFA, n}$ は、 $T_{BUSY, n}$ 期間と $T_{BUSY, n-1}$ 期間との間のフレーム間到着時間を示す。

【0112】

上記プログラムフラグメント内のステートメント [1. 11] から [1. 15] は、固定された数のチャンネルアイドル期間およびチャンネルビジー期間について仮の時間計算を行う。これらの計算についての確率 $Pr3$ から $Pr6$ は、式 (17) ~ 式 (31) から取得してもよい。入力パラメータ ν が 1 に等しい場合は、直前のパケットは競合パケットではないことを示しているため、確率 $Pr5$ および $Pr6$ は必要ない。その結果、式 (24) ~ 式 (30) に示す計算を行う必要がなく、 $PB2A$ は、 $PB2$ と等しく設定される。好ましい実施において、計算は、パケット P_n の送信前の限られた時間範囲内で生じる期間について行われる。限られた時間範囲は、含まれるチャンネルアイドル期間の合計が予想最長待ち時間 $DIFS + T_{wx}$ と等しいかまたはそれを超える点から開始する。限られた時間範囲は、処理装置 10 が当該範囲内でフレームを送信した場合には、より遅い時間でも開始する。この場合には、限られた範囲は、以前送信されたフレームの最後から開始する。本モデルは、送信装置 10 によるパケットの以前の送信後であって、チャンネルアイドル期間の合計が最大待ち時間となる予想最短範囲の開始に先立つ期間を、その計算に含めない。

【0113】

本モデルがより多くのチャンネルビジー期間およびチャンネルアイドル期間をその計算に含める必要がある場合には、追加の分の期間についての確率は、上述と同様のやり方で導出される式を使用して取得してもよい。

【0114】

ステートメント [1. 17] を参照すると、先行するどのテストも満たされない場合には、本モデルは、待ち時間は判断できないと結論付ける。この状況は、受信器 20 が検出できない競合トラフィックを処理装置 10 が検出する場合に生じ得る。そうでなければ、この状況は、処理装置 10 または何らかの他の送信装置が通信プロトコルの 1 つ以上の規定に違反していることを示す場合がある。

【0115】

処理装置 10 がパケット P_n を有するフレームを送信するために必要とする時間 T_T は、推定待ち時間 W_T と、フレームについての情報を通信路 11 に注入するのに必要な時間 T_X とから取得される。処理装置 10 が M 個の固有パケットを送信するのに必要であった合計時間 ΣT_T を累積した後に、受信器は、以下の式から、送信レートの合理的に正確な推定値を取得することができる。

【0116】

10

20

30

40

50

【数 18】

$$p_D = \frac{M}{\Sigma T_r} \quad (32)$$

【0117】

G. 信号受信品質

1. 概要

通信路 11 の送信の監視は、送信のレート p_D などのパラメータの推定を含む広範な目的のために使用される。観測された信号に基づく結果の有用性または信頼性は、監視装置によって受信された信号の受信品質によって影響を受ける。例えば、観測された情報の正確性は、パラメータ p_D を推定可能な正確性に影響を与え、このパラメータの正確性は、FEC 最適化出願に開示されたような手法の最適化動作にとって重要である。上述の手法は、信号の受信が干渉または低い信号受信品質によって損なわれている期間中に、推定の正確性を改善するための対処を含む。このような対処によって、本発明の様々な局面は、従来の監視手法ではうまくいかない状況において、より正確な結果を取得することができる。それにもかかわらず、信号受信品質があまりにも低くなる場合には、これらの対処は、推定の正確性が許容不可能なレベルまで劣化することを防止できない。

10

【0118】

監視動作が十分な正確さで様々なパラメータ値を推定するのに十分なほど信号品質が固いかどうかを判断するための、受信器 20 において実施可能な手法を以下に説明する。これらの手法は、パケットが通信路 11 上で送信されるやり方に関する 2 つの仮定に基づく。すなわち、(1) 処理装置 10 は、その送信レートを、通信路条件に従って適合させる、および (2) 情報は、固有の送信パケット数の推定値が計算できるようにする何らかの制御情報と共に送信される。これら 2 つの仮定を使用して、自身宛ての 2 つの受信パケット間で実際に観測するパケットの数を計数した後、この計数値を、観測されたパケットについての制御情報から計算された推定パケット数と比較することができる。2 つの値が等しいか十分に近いものである場合は、信号受信品質は、他のパラメータ値を正確に推定することができるほど高いはずである。

20

【0119】

以下に説明する手法は、信号受信品質を評価する必要がある実質的にいかなる応用例で使用してもよい。本手法は、その適用が上述の推定処理に限定されるものではない。

30

【0120】

a) 送信レートの適合化

第 1 の仮定によれば、処理装置 10 は、その送信レートを通信路状態に従って適合化する。これは、受信器 20 は、一般的には、受信器 20 宛ての各固有パケットと、その関連制御情報とを、何らデータの破損なく少なくとも 1 回は受信することになることを意味する。送信レートの適合化によって、処理装置 10 は、所期の受信器がどれほど確実にパケットを受信しているのかに従って、パケットの送信レートを適合化する。処理装置 10 がパケットをうまく受信したことを確認する受信器から肯定応答を一貫して受信する場合には、処理装置 10 は、当該受信器宛てのパケットについての送信レートを維持または増加させてもよい。処理装置 10 受信器から肯定応答を受信し損なっている場合には、処理装置 10 は、当該受信器宛てのパケットについての送信レートを低くする。この手法は、信号受信品質が高い場合には高い送信レートを使用し、信号受信品質が低い場合には低いレートを使用する傾向がある。

40

【0121】

通信路 11 が無線ネットワークであって、信号受信品質が低い場合には、受信器 20 は、他の受信機へ高いレートで送信されたパケットを観測することができないか、または、重大なデータの破損なくこれらのパケットを観測することができない場合もある。例えば IEEE 802.11a または IEEE 802.11g 準拠のネットワークにおいて、処理装置 10 は、その送信を 54 Mb/秒までのレートで情報を送信するように適合化させ

50

てもよい。受信器が処理装置 10 の近くであって、信号受信品質が非常に高いといったローカル状態である場合には、処理装置 10 は、パケットを最大レートまたはそれに近いレートで受信器へ送信することになるだろう。受信器 20 が処理装置 10 から遠く離れている、および／または、信号受信品質が非常に低いといったローカル状態である場合には、受信器 20 が最高レートで他の受信器へ送信されるパケットを確実に受信できる可能性はありそうもない。

【0122】

しかしながら、送信レートの適合化によって、たとえ受信状態が悪くても、受信器 20 が処理装置 10 の範囲内であれば、自身のパケットを受信することができ、破損があったとしても少なくても済む。受信器 20 についての信号受信品質が非常に低い場合には、処理装置 10 は、通信が合理的に確実になるまで、送信器 20 への送信レートを減少させることになる。送信レートが通信路の状態に合致するように適合化された場合には、フレーム誤り率は、典型的には 10^{-1} 以下程度である。処理装置 10 が特定のパケットについての肯定応答を受信しない場合には、当該パケットを 4 回以上再び送信し、その結果、本明細書において述べた条件で受信器 20 がパケットをうまく受信しない確率は 10^{-5} 程度である。送信レートの適合化を使用することにより、受信器 20 は、通常、受信器 20 宛ての各固有パケットおよびその関連制御情報を、何らデータの破損なく、少なくとも 1 回は受信することになる。

【0123】

b) 制御情報

第 2 の仮定によれば、パケットは、固有の送信されたパケット数が計算可能な何らかの制御情報と共に送信される。IEEE 802.11 対応ネットワークにおいて、MAC ヘッダにおけるパケットシーケンス番号は、必要な制御情報を提供することができる。

【0124】

2. 信号受信品質の評価

以下に説明する特定の実施は、通信路 11 のために使用される通信プロトコルが IEEE 802.11 規格のうちの 1 つに準拠しているものと仮定している。これらのプロトコルは、上述のパケット毎に、MAC ヘッダにおいて 12 ビットのシーケンス番号を提供する。シーケンス番号は、特定の装置によって送信される各連続する固有パケット毎に、 2^{12} を法として 1 つずつ増分される。

【0125】

受信器 20 が 2 つの連続する当該受信器宛ての固有パケット P_A および P_B を処理装置 10 から受信する場合、処理装置 10 から 1 つ以上の他の受信器へ送信された固有の介在パケットの数 D は、これらのパケットについてのシーケンス番号 Q_A と Q_B との間の差から以下のように取得できる。

【0126】

【数 19】

$$D = (Q_B - Q_A - 1) \text{ modulo } 2^{12} \quad (33)$$

式中、 Q_B = 受信器宛てのパケット P_B のシーケンス番号であり、

Q_A = 受信器宛ての先行パケット P_A のシーケンス番号である。

【0127】

送信レートの適合化によって、所期の受信器は、これら 2 つのシーケンス番号を破損なく受信する可能性が高くなる。上述のように、フレーム CRC は、フレーム内ので一たが破損なく受信されたかどうかを判断するために使用することができる。それにもかかわらず、処理装置 10 において使用されるキューイング手法が上述のように厳密な FIFO 手法から導出される場合には、2 つのシーケンス番号間の差は、介在パケットの正確な数を常に示すものではない場合がある。この局面について、以下により詳細に説明する。

【0128】

受信器 20 は、上述のような手法のうちの任意のものを使用して、観察するパケットを

計数することができる。受信器 20 についての信号受信品質が処理装置 10 によって送信されるパケットすべてまたはほとんどすべてを観測できるほど十分に高い場合には、これらのパケットの計数値 C は、計算された差 D と等しいか、またはほぼ等しくなる。受信器 20 についての信号受信品質が処理装置 10 によって送信されるパケットのうちのかんりの数を観測できないほど低い場合には、これらのパケットの計数値 C は、計算された差とは異なることとなる。逆に、C および D とがうまく合致すれば、信号受信品質が高いことを合理的な正確さで示すことができる。うまく合致していないからといって、信号受信品質は必ずしも低いとはいえない。なぜならば、計算された差 D をゆがめるシーケンス番号のストリームにおけるギャップまたはジャンプがあり得るからである。この理由は、以下に説明する。

10

【0129】

一実施において、受信品質の予備測度 E は、以下の式から計算される。

【0130】

【数20】

$$E=D-C$$

(34)

この測度は、取り除かなければ測度の信頼性を損なうような短期の外乱を取り除くためにフィルタリングまたは平滑化が施される。適切な平滑化フィルタの一例を以下に示す。ゼロまたはゼロに近い E の値は、一般的には、信号受信品質が高いことを示す。しかしながら、E の値が大きい場合には、以下に説明するような、ビット誤り率などの他の事項を考

20

【0131】

3. シーケンス番号ジャンプ

処理装置 10 がいつも厳密な F I F O というわけではないキューイング手法を実施して、パケットをある条件で送信用に並べ替える場合には、シーケンス番号のストリームにおいてギャップまたはジャンプが生じる場合がある。例えば、上述のように、ルータまたは無線アクセスポイントなどの I E E E 8 0 2 . 1 1 準拠の処理装置は、いくつかの受信器のうちの一つに対する無線リンクの品質の劣化に遭遇した場合にはいつでも、そのバッファからパケットを、厳密な F I F O というわけではない順序で取り出すことがある。

【0132】

30

図 9 は、そのような装置によって送信され得るパケットを有するフレームのストリームの一例の概略図である。各フレームは、箱形で表されており、そのシーケンス番号を表す番号が付されている。受信器 20 宛てのパケットを有するフレームは、他の受信器宛てのパケットを表す箱形の線よりも太い線で描かれた箱形によって表されている。図 9 に示す例を参照すると、パケット P 1 とシーケンス番号 $Q_A = 1$ とを有する受信器 20 宛てのフレームは、当該受信器へうまく送信される。パケット P 2 とシーケンス番号 $Q = 2$ とを有する他の受信器へのフレームを送信しようとする試みは、5 回の試行の後に中断される。パケット P 1 0 とシーケンス番号 $Q_B = 10$ とを有する受信器 20 宛てのフレームはが次に送信される。パケット P 2 の中断により、送信用にパケットの並べ替えが生じ、その結果、連続するシーケンス番号間にジャンプが生じる。

40

【0133】

式 (33) によれば、パケット P 1 および P 1 0 についてのシーケンス番号間の差 D は、 $D = (10 - 1 - 1) = 8$ に等しく、これら 2 つのパケット間の期間に観測され得るパケットの数の計測値 C とは大幅に異なる。本例において、信号受信品質が非常に高い場合であっても、上述の計測手法は、計測値 $C = 1$ を生じさせ、これは計算された差 $D = 8$ とは大幅に異なる。この例は、パケットの計測された数値 C と計算された数値 D との間の差が大きくても、信号受信品質が悪いことを必ずしも示すものではないことを示している。

【0134】

4. 中断された送信

上述の計数手法は、所定の期間内でうまく送信されたパケットの数を計数することが意

50

図されている。図9に示す例を参照すると、これらの計数手法は、パケットP2の5回の送信を、1個の固有パケットの1回の成功した送信として計数することになる。この計数値が正しくないことはほぼ確実である。なぜならば、パケットP2はうまく送信されなかったからである。正確な計数値は、ほぼ確実にゼロである。

【0135】

この状況は、送信がうまくできなかったパケットを認識して、それらを計数から除外することによって訂正することができる。一実施において、以下の3つの条件がすべて満たされれば、パケットはうまく送信されなかったものとみなされる。

(1) 同一のシーケンス番号 Q_X を有する同一の受信器宛てのパケット P_X の数回の連続した送信が観測される(IEEE 802.11規格に準拠する実施については、本手法は、同一のパケットの5回連続の送信をチェックすることができる)場合、

(2) 観測される次に送信されるパケット P_Y が、シーケンス番号 Q_Y を有し、異なる受信器宛てである。

(3) 差 $J = (Q_Y - Q_X)$ が1より大きい。

【0136】

これら3つすべての条件が、図9に示す例において満たされている。パケットP2の1つの受信器宛ての5つの連続した送信があり、別の受信器宛てのパケットP10がそれに続く。パケットP2およびP10についてのシーケンス番号間のギャップは、 $J = 10 - 2 - 1 = 7$ であり、これは1よりも大きい。この例では、パケットP2は計数値から除外されるべきである。

【0137】

5. 受信品質が悪い場合の追加テスト

予備測度が信号受信品質が悪いであろうと示す場合には、これが真であるかどうかを確認するために追加のテストを行うことができる。使用され得るテストの1つは、互いに異なるレートで送信される受信情報におけるビット誤り率を推定することである。

【0138】

通信路11を実施するために使用される技術が、IEEE 802.11aまたは802.11g規格に準拠している場合には、処理装置10は、その情報送出のための送信を最大レート $R_{MAX} = 54 \text{ Mb/秒}$ まで適応させてもよい。経験的な研究によれば、パケットが $R_0 = 36 \text{ Mb/秒}$ で誤りなく受信できる場合か、またはパケットが送信レート $R_1 = 48 \text{ Mb/秒}$ で誤り訂正手法によって訂正できない誤りなく受信できる場合には、受信器20についての信号受信品質は、最大レートを含む任意のレートでパケットを送信しながら上記の処理を使用するのに十分なものとなる。

【0139】

最大限可能なレートで生じる送信を行いながら上記の手法が確実に使用できるのに十分なほど信号受信品質が高いかどうかを評価するために使用可能な一アルゴリズムを概略的に示すソースコードプログラムの断片を以下に示す。

【0140】

```
[2.1] F_last_good;           //最後に良好なフレーム
[2.2] int SNR_change=2;      //デシベル単位のSNR変化閾値
[2.3] int BER_max=2;         //最大許容ビット誤り率(パーセンテージ)
[2.4] int time_interval=2    //秒単位のテスト期間
[2.5] int receive_quality_good_enough(F_cur) {
[2.6]     if(check_rate(F_cur)==1)
[2.7]     {
[2.8]         F_last_good=F_cur;
[2.9]         return 1;
[2.10]    }
[2.11]    else if((F_last_good.SNR-F_cur.SNR)<=SNR_change &&
                (F_cur.TS - F_last_good.TS)<time_interval &&
```

```

        F.cur.BER < BER_max)
[2.12]         return 1;
[2.13]     else
[2.14]         return 0;
[2.15] }
[2.16] int Rl=48, R0=36;          //送信レート
[2.17] int check_rate(F){
[2.18]     if(F.rate >= R0 && F.CRC == 0)
[2.19]         return 1;
[2.20]     else if(F.rate >= Rl && F.BER == 0)
[2.21]         return 1;
[2.22]     else
[2.23]         return 0;
[2.24] }

```

10

【0141】

関数 `receive_quality_good_enough` (ステートメント [2. 5] で開始) は、信号受信品質を評価して、上述の推定手法を確実に使用するのに十分なほど良好な品質である旨を示す値 1 を返し、十分なほど品質が良好でない旨を示す値ゼロを返す。この評価は、関数 `check_rate` (ステートメント [2. 17] で開始) を呼び出して、送信レートおよび受信フレーム F の対応誤り率を分析することによって開始する。関数 `check_rate` が値 1 を返す場合 (ステートメント [2. 6] 参照)、最後に良好なフレームへのポインタ `F_last_good` が更新されて、現在のフレームをポイントするようになり (ステートメント [2. 8] 参照)、信号受信品質が良好である旨を示す値 1 が返される (ステートメント [2. 9] 参照)。

20

【0142】

`check_rate` 関数は、フレーム F における情報が少なくとも R0 ほどの高い送信レートで誤りなく受信された場合 (ステートメント [2. 18] およびステートメント [2. 19] 参照)、または、フレーム F における情報が少なくとも R1 ほどの高いレートで訂正不可能な誤りなく受信された場合 (ステートメント [2. 20] およびステートメント [2. 21] 参照)、値 1 を返す。この例において、`F.CRC = 0` は、フレーム F における情報が誤りなく受信されたことを示し、要素 `F.BER = 0` は、フレーム F における情報が訂正不可能な誤りなく受信されたことを示す。いずれの条件も満たされない場合には、ルーチンは値ゼロを返す (ステートメント [2. 22] およびステートメント [2. 23] 参照)。

30

【0143】

関数 `check_rate` が値 0 を返す場合には、信号受信品質がまだ良好であるとみなされるかどうかを判断するために追加のテストが行われる。これは、ステートメント [2. 11] において、現在のフレームの信号対雑音比 (`signal-to-noise ratio: SNR`) と、受信タイムスタンプ (TS) と、受信されたビット誤り率 (`bit-error rate: BER`) とを最後に良好なフレームについての対応する値と比較することによって行われる。現在のフレームと最後に良好なフレームとの間の変化量が特定の閾値内にすべて入る場合には、ステートメント [2. 12] において、信号受信品質は良好であるとみなされる旨の指標が返される。そうでない場合には、ステートメント [2. 14] において、信号受信品質は良好ではないとみなされる旨の指標が返される。

40

【0144】

これら 3 つの比較についての基本原理は、いくつかの仮定に基づく。現在のフレームについての SNR が、最後に良好なフレームについての SNR のある閾値量内であれば (本例においては、2 dB)、現在の受信状態はまだ十分良好である可能性がある。このテストは、最後に良好なフレームの何らかの時間間隔内に受信されるフレームに限られる (本

50

例においては、2秒)。なぜならば、マルチパスフェージングなどの受信条件における変化によって、適切な信号受信品質を確保するために必要なS N Rが上昇する場合があるからである。時間間隔は、最後に良好なフレーム以降に条件が大幅に変化した可能性を減少させるのに十分なほど短く維持される。ビット誤り率についての最終テストは、現在のフレームにおけるシーケンス番号が信頼できるものである可能性を高めるために使用される。

【0145】

ビット誤り率は、受信されたフレームにおけるデータを、エラー訂正処理によってビットエラーを訂正した後のフレーム内のデータと比較し、エラー訂正処理によって変更されたビット数を計数し、この数を受信されたビットの総数で除算することによって推定することができる。所望であれば、この推定値に対して低域フィルタまたは平滑化フィルタによってフィルタリングを施すか、この推定値を推定ビット誤り率の移動平均の計算に使用することもできる。

【0146】

上述のプログラムフラグメント示す本処理は、受信特性が互いに異なる送信レートについて既知であれば、他の通信規格と共に使用することもできる。特定のプロトコルについて、受信器20が破損なく送信を受信できる送信レート R_0 が既知であって、送信は確実に受信できるが最高許容送信レート R_{MAX} では必ずしも完全ではないような受信状態である場合には、当該2つのレートについて適切な値を代入することによって、上述のアルゴリズムをこの特定の通信プロトコルと共に使用することができる。

【0147】

6. フィルタの平滑化

式(34)から取得された受信品質の予備測度Eは、ゼロまたは非常に小さい値を有する場合には、良好な信号品質を示す。Eについての大きな値は、悪い信号受信品質を示す場合があるが、大きな値は、上述のように、例えば、シーケンス番号のジャンプによる場合またはS N Rの不定期的な減少などの受信条件の短期的な劣化による場合もある。好ましくは、短期的な条件は、信号受信品質の全体的な評価における短期的な変化として現れることを許容すべきでない。これは、低域フィルタまたは平滑化フィルタを使用して、取り除かなければ測度の有用性を劣化させるような値Eにおける短期的な外乱を取り除くことによって回避できる。測度Eについての平滑化フィルタを実施するために使用可能な一アルゴリズムを概略的に示すソースコードプログラムのフラグメントを以下に示す。

【0148】

```
[3.1]  if (最後の5つの測度がabs(E)<3)
[3.2]      return 1;
[3.3]  else if (最後の15個の測度のうちの14個がabs(E)<3)
[3.4]      return 1;
[3.5]  else if (最後の5つの測度のうちの2つ以上がabs(E)>10)
[3.6]      return 0;
[3.7]  else if (最後の10個の測度のうちの3つ以上がabs(E)>10)
[3.8]      return 0;
[3.9]  else
[3.10]      return 0.5;
```

【0149】

このフィルタは、Eについての直近の推定値のスライド期間(s l i d i n g i n t e r v a l)を検査する一連のI F－E L S Eテストである。直近の推定値のすべてが3未満である場合(ステートメント[3.1]参照)、ステートメント[3.2]において、信号受信品質が良好である旨を示す1という値が返される。最初のI Fテストについて条件が満たされない場合には、直近の15個の推定値のうちの14個が3未満である場合(ステートメント[3.3]参照)、ステートメント[3.4]において、1という値を返すことによって、信号受信品質が良好であるとみなされる。最初の2つのI Fテストが

失敗して、それに続くステートメント [3. 5] および [3. 7] における 2 つの I F テストのいずれかについて条件が満たされる場合には、信号受信品質が悪い旨を示すゼロという値が返される。いずれの I F テストについても条件が満たされない場合には、ステートメント [3. 10] において、信号受信品質が中程度である旨を示す 0. 5 という値が返される。

【0150】

I F テストに規定された条件は、表示の信頼性と、表示が変化する通信条件に応じる測度との兼ね合いを均衡させるために、経験的なデータから導出されたものである。一般的には、1 という値は、信号受信品質が監視の目的のためには十分に良好である旨を示す。

【0151】

H. 実施

本発明の様々な局面を実際に行うために必要な機能は、別個の論理要素、集積回路、1 つ以上の A S I C および／またはプログラム制御されたプロセッサを含む広範なやり方で実施される要素によって行われ得る。これらの要素が実施されるやり方は、本発明においては重要ではない。

【0152】

本発明のソフトウェアによる実施は、超音速から紫外線周波数までを含むスペクトラムを通じてベースバンドまたは変調された通信路などの様々な機械読み出し可能な媒体によって、もしくは、磁気テープ、カードまたはディスク、光学カードまたはディスク、および紙を含む媒体上の検出可能なマーキングを含む実質的に任意の記録技術を使用して情報

【図面の簡単な説明】

【0153】

【図1】通信システムの概略ブロック図である。

【図2】フレームのストリームにおけるシーケンス番号を有するパケットの概略図である。

【図3】フレームのストリームにおけるシーケンス番号を有するパケットの概略図である。

【図4】フレームのストリームにおけるシーケンス番号を有するパケットの概略図である。

【図5】ある時間間隔中に送信された固有パケット数を計数するために使用されうる処理におけるステップを示すフロー図である。

【図6】フレームのストリームにおけるパケットの概略図である。

【図7】フレームのストリームにおけるパケットの概略図である。

【図8A】フレームのストリームにおけるパケットの概略図である。

【図8B】フレームのストリームにおけるパケットの概略図である。

【図8C】フレームのストリームにおけるパケットの概略図である。

【図8D】フレームのストリームにおけるパケットの概略図である。

【図8E】フレームのストリームにおけるパケットの概略図である。

【図8F】フレームのストリームにおけるパケットの概略図である。

【図9】フレームのストリームにおけるパケットの概略図である。

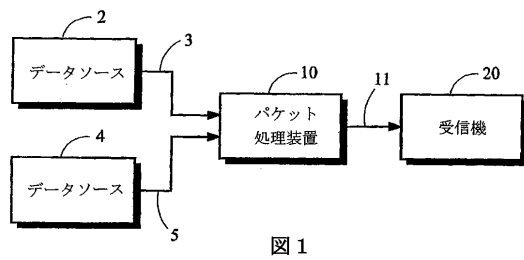
10

20

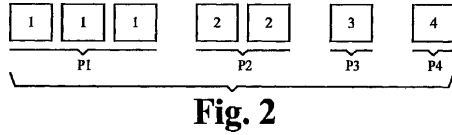
30

40

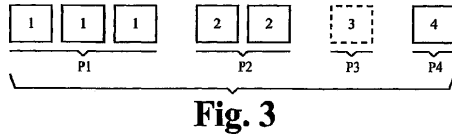
【図 1】



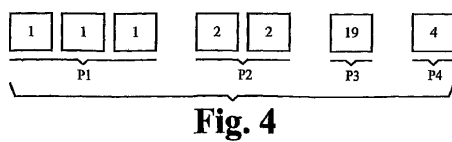
【図 2】



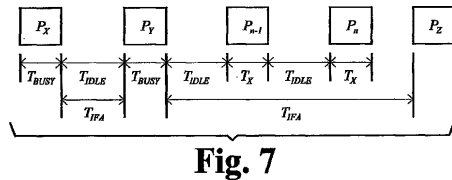
【図 3】



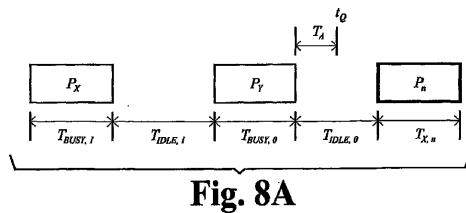
【図 4】



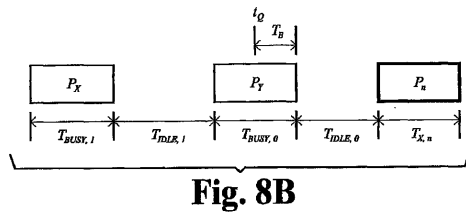
【図 7】



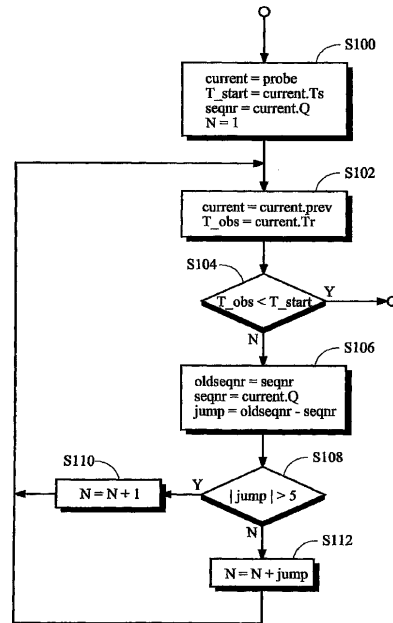
【図 8 A】



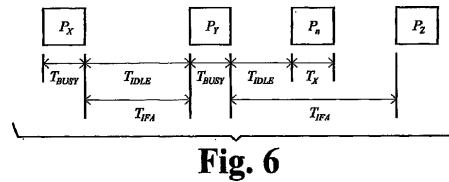
【図 8 B】



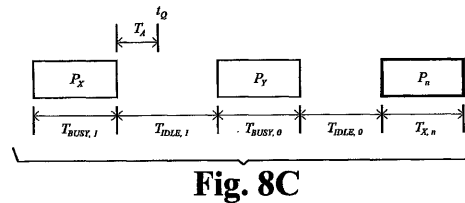
【図 5】



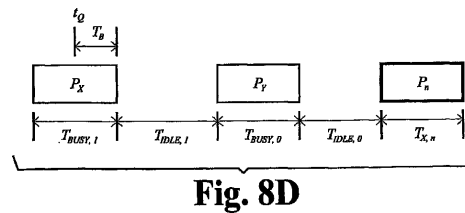
【図 6】



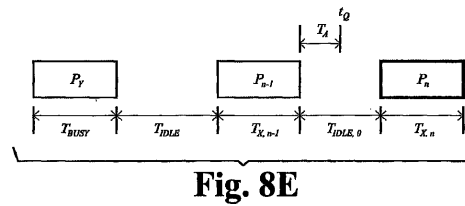
【図 8 C】



【図 8 D】



【図 8 E】



【図 8 F】

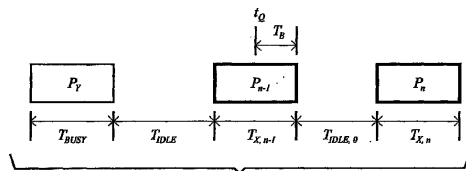


Fig. 8F

【図 9】

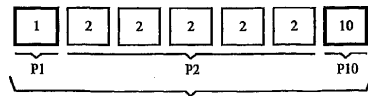


Fig. 9

フロントページの続き

- (74)代理人 100121762
弁理士 杉山 直人
- (74)代理人 100126767
弁理士 白銀 博
- (74)代理人 100118647
弁理士 赤松 利昭
- (74)代理人 100138519
弁理士 奥谷 雅子
- (74)代理人 100138438
弁理士 尾首 亘聰
- (74)代理人 100123892
弁理士 内藤 忠雄
- (74)代理人 100131543
弁理士 常光 克明
- (74)代理人 100159020
弁理士 安藤 麻子
- (72)発明者 ジャン、ウェンユ
アメリカ合衆国、カリフォルニア州 94103-4813、サンフランシスコ、ポトレロ・アベ
ニュー 100、ドルビー・ラボラトリーズ・ライセンシング・コーポレーション

審査官 森谷 哲朗

- (56)参考文献 特開平06-216972 (JP, A)
特開2001-203674 (JP, A)
特開2001-016276 (JP, A)
特開平11-308271 (JP, A)
特開2006-067109 (JP, A)
特開2004-040793 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04L 13/08
H04W 28/02